

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Ammatillinen opettajakorkeakoulu  
Arto Kettunen

Kehittämishanke

## **Robottisolun hyödyntäminen mekatroniikkainsinöörien PBL-pohjaisessa automaatio-opetuksessa**

Työn ohjaaja  
Työn tilaaja  
Tampere 9/2009

yliopettaja, TtT Marjatta Myllylä  
Lahden ammattikorkeakoulu, Tekniikan ala  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Ammatillinen opettajakorkeakoulu  
Opettajankoulutuksen kehittämishanke

Kettunen, Arto

Robottisolun hyödyntäminen mekatroniikkainsinöörien PBL-pohjaisessa automaatio-opetuksessa

40 sivua + 8 liitesivua

Syyskuu 2009

Työn ohjaaja: yliopettaja, TtT Marjatta Myllylä

Työn tilaaja: Lahden ammattikorkeakoulu, Tekniikan ala, Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

---

## Tiivistelmä

Tässä opetuksen kehittämishankkeessa tutkittiin Lahden ammattikorkeakoulun Tekniikan alalle hankitun keskiraskaan robottisolun soveltuvuutta Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelman automaatio-opetukseen. Työn teknisessä osassa keskeisenä tavoitteena oli selvittää robottisolun rakenne ja toiminta, liityntärajapinnat ohjelmistojen ja mekaniikan välillä sekä solun käyttöön liittyvät turvallisuuskohdat. Työn pedagogisessa osassa kartoitettiin, millä opintojaksoilla robottisolua on mahdollista opetuksessa hyödyntää ja miten opetus kannattaa toteuttaa, jotta robottisolun käyttö tukisi mahdollisimman hyvin Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelmassa sovellettavaa ongelmalähtöistä opetusmenetelmää (PBL).

Tutkimusaineisto kerättiin pääasiassa käytännön työskentelyn kautta. Tutkimuksessa on hyödynnetty muun muassa robottisolun suunnittelu- ja toteutusvaiheessa hankittua teknistä informaatiota, josta suurin osa on peräisin haastatteluista ja keskusteluista laitetoimittajien sekä solun rakentamisesta ja ylläpidosta vastaavien henkilöiden kanssa. Osa teknisestä tiedosta kerättiin erilaisista kirjallisista ja sähköisistä lähteistä, kuten komponenttien katalogeista ja käyttöohjeista. Työn soveltava osa edellytti aktiivista työskentelyä myös itse robottisolulla, missä testattiin erilaisia työkiertoja ja opiskeltiin robotin käyttöä ja ohjelmointia.

Työn lopputuloksena solusta saatiin kartoitettua opetuksen toteuttamisen kannalta oleelliset tekniset yksityiskohdat. Pedagogisessa osuudessa Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelman opetussuunnitelmasta määritettiin ne opintojaksot, joilla robottisolua on mahdollista hyödyntää opetuksessa. Tuloksiin saatiin ongelmalähtöisen opettamisen näkökulmaa konkreettisen oppimiscasen avulla, ja casen toimivuus testattiin robottisolulla myös käytännössä. Kehittämishanke tuotti myös yhden jatkotutkimuksen, missä selvitetään robottisoluun asennetun RFID-etätunnistusjärjestelmän soveltamismahdollisuuksia puut tuotteiden tunnistamiseen.

Kehittämishankkeen lopputuloksia voidaan sellaisenaan hyödyntää Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelman automaatiotekniikan ja robotiikan opetuksessa sekä ongelmalähtöisen opetussuunnitelman kehittämisessä. Kehittämishanke on tuottanut myös arvokasta pohjatietoa RFID-tekniikkaan keskittyvälle jatkotutkimukselle, mikä oletettavasti tulee lisäämään projektityhteistyötä Lahden ammattikorkeakoulun ja paikallisen elinkeinoelämän välillä.

---

Avainsanat:

robotiikka, teollisuusautomaatio, etätunnistus, turvallisuustekniikka, ongelmalähtöinen oppiminen

Tampere Polytechnic  
Teacher Education Centre

Kettunen, Arto

How the robot cell can be utilized in PBL-based automation education of mechatronics engineers

40 + 8 pages

September 2009

Thesis Supervisor: Principal Lecturer, PhD, Marjatta Myllylä

Co-operating Company: Lahti University of Applied Sciences, Degree Programme in Mechanical and Production Engineering

---

## Abstract

This development project deals with the automatic robot cell delivered to Lahti University of Applied Sciences in spring 2009. Main goal in this project was to clarify, how the robot cell can be utilized in PBL-based automation education in Degree Programme in Mechanical and Production Engineering. Technical part of this report contains description of robot cell structure and operation, connections between mechanics and softwares and safety aspects. In educational part were cleared up the courses the robot cell can be utilized and there is some ideas how the education should be sensible to organize so, that it'll support the problem-based teaching method (PBL) applied in Degree Programme in Mechanical and Production Engineering.

Materials of this report were collected by practical working. In this examination has been utilized for example technical information obtained in robot cell planning and realization phases. The main part of this information derives from interviews and conversations executed with the persons, which have been responsible for robot cell composition and maintenance. Part of technical information was collected from different kind of literary sources, like component catalogues and manuals. The applied part of this project presupposed active working with the robot cell too, practising robot operation, programming and testing several kinds of working cycles.

As final result the most important technical details for teaching realization were mapped. In pedagogical part, the courses where the new robot cell can be utilized in teaching related to Degree Programme in Mechanical and Production Engineering were determined. The perspective of PBL based teaching method was observed by concrete studying case, which functionality was tested on robot cell in practice. Moreover this development project gives one new examination theme concerned to RFID identification system incorporated to robot cell. This examination will process, how the RFID system can be adapted to the identification of wood products.

The results of this examination will be utilized to improve the education of automation and robot technology and the PBL based curriculum of Degree Programme in Mechanical and Production Engineering. Furthermore this development project has produced very worthy basic information for new examination concerned to RFID technology. We hope that it'll increase the co-operation between Lahti University of Applied Sciences and local economic life.

---

## Keywords

robotics, industrial automation, radio frequency identification, safety technology, problem-based learning

## Esipuhe

Uuteen tekniikkaan perehtyminen ja tiedon dokumentoiminen on vaatinut tarkkuutta, täsmällisyyttä ja varovaisuutta. Puurtaminen on kuitenkin kannattanut, sillä työn tuloksia voidaan hyödyntää paitsi opetukseen ja opetussuunnitelman kehittämiseen, myös uuden tiedon tuottamiseen robottiautomaation alueella. Toivottavasti tämä tutkimusraportti sekä sen ohella tuotettu projektidokumentaatio ovat muotoilultaan niin selkeitä, että niitä voidaan sellaisenaan käyttää opetuksen suunnittelussa sekä robottisolun jatkokehittäelyssä.

Kiitän lehtori Matti Pitkälää ja projekti-insinööri Timo Lahtista arvokkaasta teknisestä tuesta sekä yliopettaja Marjatta Myllylää työn raportointia tukeneista kommentteista.

Heinolassa syyskuussa 2009

Arto Kettunen

## Sisällysluettelo

<b>1 JOHDANTO .....</b>	<b>6</b>
<b>2 TUTKIMUSMENETELMIEN ESITTELY .....</b>	<b>8</b>
<b>3 ROBOTISOLUN RAKENNE JA TOIMINTA.....</b>	<b>10</b>
3.1 TEKNINEN KUVAUS.....	10
3.2 TOIMINTAKUVAUS.....	12
3.3 OHJELMISTOJEN JA MEKANIIKAN VÄLISET RAJAPINNAT .....	13
3.4 TURVALLISUUSNÄKÖKOHDAT .....	15
<b>4 ROBOTISOLUN HYÖDYNTÄMINEN AUTOMAATIO-OPETUKSESSA .....</b>	<b>18</b>
4.1 AUTOMAATIO-OPETUS KOKONAISUUTENA .....	18
4.2 PEDAGOGINEN TARKASTELU .....	23
4.3 OPINTOJAKSOJEN TOTEUTTAMINEN (CASE-ESIMERKKI).....	25
<b>5 ETÄTUNNISTUSOVELLUKSEN TOTEUTTAMINEN ROBOTISOLULLA.....</b>	<b>31</b>
5.1 RFID-JÄRJESTELMÄN RAKENNE JA TOIMINTA .....	31
5.2 PUUTUOTTEIDEN TUNNISTAMINEN .....	33
<b>6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....</b>	<b>36</b>
<b>LÄHTEET .....</b>	<b>39</b>
<b>LIIITTEET.....</b>	<b>40</b>
1 Robotin turvakytkeä .....	40
2 Opintojen rakenne mekatroniikan insinöörikoulutuksessa.....	40
3 Case-esimerkin ratkaisu, robotin ohjausohjelma.....	40

# 1 Johdanto

Kehittämishanke liittyy Lahden ammattikorkeakoulun Tekniikan alalle lukuvuonna 2008–2009 rakennettuun automaattiseen robottisolun, mikä toteutettiin yhteishankkeena Koulutuskeskus Salpauksen kanssa. Projekti käynnistettiin keväällä 2008 soluun tulevien laitteistojen toiminnallisilla ja teknisillä määrittelyillä sekä tarjouspyyntöjen laatimisella. Laitteet tilattiin alkuvuodesta 2009, ja samalla solun rakentamiseen ja käyttöönottoon palkattiin yksi päätoiminen projekti-insinööri. Tällä hetkellä solu on pieniä yksityiskohtia lukuun ottamatta teknisesti valmis, ja sillä on tehty koeajoja ja testauksia myös opetuskäytössä.

Robottiikka on yksi Lahden ammattikorkeakoulun opetuksellisista painopistealueista, minkä vuoksi on tärkeää, että taloudellisesti suhteellisen arvokas investointi saadaan nopeasti tehokkaaseen opetuskäyttöön. Robottiikkaa on opetettu LAMK:n Tekniikan alalla myös aikaisemmin kahdella pienemmällä robotilla. Nyt hankittu keskiraskas robottisolu antaa kuitenkin paremmat mahdollisuudet kokonaisvaltaisempaan opetukseen niin robotiikan, kuin myös automaatiotekniikan osalta. Tämän kehittämishankkeen keskeisenä tavoitteena on selvittää, millä tavoin uusi robottisolu voidaan mahdollisimman tehokkaasti integroida osaksi Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelman automaatio-opetusta, ja miten opintojaksot kannattaa toteuttaa, jotta aikaisemmin hyvin teoriapainotteisiin opintojaksoihin saadaan lisää käytännönläheisyyttä. Työssä kartoitetaan oleelliset yksityiskohdat liittyen robottisolun tekniseen rakenteeseen, toimintaan, turvallisuusnäkökohtiin sekä ohjelmistojen ja mekaniikan välisiin liityntärajapintoihin. Tämän jälkeen selvitetään, miten eri osa-alueet voidaan sisällyttää Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelman automaatio-opetukseen opetussuunnitelmatasolla. Laitetekniikan osalta työhön pyritään saamaan innovatiivisuutta tutkimalla uuden sukupolven langattoman RFID-etätunnistus-järjestelmän soveltamismahdollisuuksia robottisolussa. Kyseisen tekniikan odotetaan tulevaisuudessa korvaavan perinteiset viivakooditunnisteet, mikä on herättänyt mielenkiintoa mm. puunjalostusteollisuudessa.

Työn tuloksia voidaan hyödyntää sellaisenaan Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelman automaatio-opetuksessa nuorisoasteella sekä aikuiskoulutuksessa. Vaikka työ tehdään ensisijaisesti Mekatroniikan suuntautumisvaihtoehdolle, saa tuloksia hyödyntää

soveltuvilta osin myös muissa koulutusohjelmissa sekä Koulutuskeskus Salpauksen automaatio-opetuksessa. Sisällöllisesti työ tulee näkymään Mekatroniikan insinöörikoulutuksen opetussuunnitelmien pedagogisessa kehittämisessä entistä opiskelijälähtöisempään suuntaan siten, että kehittämishankkeesta hyötyisivät ensisijaisesti opiskelijat käytännönläheisemmän opetuksen mukanaan tuoman paremman opiskelumotivaation kautta. Toivon mukaan työskentely uudella robottisolulla kehittää opiskelijoiden osaamista siten, että heillä on entistä paremmat mahdollisuudet sijoittua työelämään koulutustaan vastaaviin tehtäviin.

## 2 Tutkimusmenetelmien esittely

Työskentely robottisolulla suunnitteluvaiheesta tähän päivään saakka on tuottanut runsaasti kokemustietoa, mitä hyödynnetään tämän kehittämishankkeen läpiviennissä. Osa tiedosta on haettu erilaisista kirjallisista ja sähköisistä lähteistä, kuten laitteiden teknisistä kuvauksista ja manuaaleista, mutta suurin osa tiedosta on muodostunut käytännön työskentelyn aikana robottisolulla sekä erilaisissa oheiskoulutuksissa. Tiedon hankintaan on kuulunut oleellisena osana yhteistyö LAMK:n Tekniikan alan robottivastaavien, Matti Pitkälän ja Timo Lahtisen kanssa. Matti Pitkälä toimii oppilaitoksessamme automaatiotekniikan lehtorina, ja hän vastaa mm. robotiikan opetuksesta. Timo Lahtisen vastuualueena on ollut robottisolun kokoonpano ja käyttöönotto niin mekaniikan kuin ohjelmistojenkin osalta.

Pedagogisessa tarkastelussa keskeisenä tietolähteenä on käytetty LAMK:n Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelman uutta opetussuunnitelmaa lukuvuodelle 2009–2010 (Opinto-opas... 2009) Opetussuunnitelmaa on päivitetty, jotta se vastaisi paremmin koulutusohjelmassa sovellettavan PBL-pohjaisen<sup>1</sup> opetusmenetelmän tarpeita. Koska kyseinen opetussuunnitelma on vuosien saatossa hioutunut lähelle lopullista muotoaan, eikä sitä ainakaan lähitulevaisuudessa tulla oleellisilta osin muuttamaan, ei tässä kehittämishankkeessa ole katsottu tarpeelliseksi enää puuttua opetussuunnitelman aikaisempiin versioihin sisältyneisiin opintojaksoihin. Hieman yksinkertaistaen voisi sanoa, että lähes kymmenen vuoden aikana kertynyt hiljainen tieto PBL-pohjaisesta opettamisesta on esitetty formaalissa muodossa uudessa opetussuunnitelmassa, ja oletettavasti tämä hiljainen tieto näkyy kehittämishankkeen toteutuksessa muutenkin kuin pelkkinä kirjallisina lähdeviitteinä.

Vaikka PBL-pohjaisen opetussuunnitelman kehittämisessä on ollut mukana koko koulutusohjelma, kuuluu päävastuu opetussuunnitelman päivittämisestä lehtori Olli Kaikkoselle sekä lehtori Teijo Lahtiselle (sähköposti: [etunimi.sukunimi@lamk.fi](mailto:etunimi.sukunimi@lamk.fi)).

Koska kyse on opetuksen kehittämishankkeesta, ei tavoitteena ole selvittää yksityiskohtaisesti kaikkia robottisolun teknisiä hienouksia, vaan työssä keskitytään ainoastaan so-

---

<sup>1</sup> problem-based learning – ongelmalähtöinen oppiminen



lun opetuskäytön kannalta oleellisimpiin tekijöihin siten, että hankkeen lopputuotoksena ei ole pelkästään tekninen dokumentaatio, vaan raportissa on nähtävissä myös pedagoginen näkökulma. Hankeraportin lisäksi kehittämishankkeesta tuotetaan erillinen projektidokumentaatio, mikä sisältää solun tekniseen rakenteeseen, toimintaan ja konfigurointiin liittyvät dokumentit, kuten turvallisuusohjeet, robotin datalehdet, solun layout-kuvat, kuljettimien mekaniikkakuvat, sähköpiirustukset sekä logiikkakonfiguraatiot ja -ohjelmat.

### 3 Robottisolun rakenne ja toiminta

Seuraavassa osassa on käyty pääpiirteittäin läpi robottisolun tekninen rakenne sekä solun toiminnan kannalta keskeisten ohjelmistojen ja mekaniikan välisten liityntärajapintojen määräytyminen. Lisäksi osion lopussa on pohdittu robottisolun tärkeimpiä turvallisuusnäkökohtia ja niihin liittyviä laiteratkaisuja. Koska robottisolun tekniset ja ohjelmalliset toteutukset oletettavasti muuttuvat ajan myötä jonkin verran, ei kaikkia yksityiskohtia ole katsottu tarpeelliseksi käydä tässä yhteydessä läpi, vaan esitys on pyritty pitämään yleisellä tasolla keskittyen ainoastaan solun toiminnan ymmärtämisen kannalta oleellisimpiin yksityiskohtiin.

#### 3.1 Tekninen kuvaus

Robottisolun layout, laitteiden sijoittelut sekä solun päämitat on esitetty kuviossa 1. Järjestelmän keskeisin komponentti on alipainetarttujalla varustettu 6-akselinen ABB IRB 6620 -nivelsiirrobotti (1), jonka kuormankantokyky on 150 kg maksimiulottumalla 2,2 metriä (ABB IRB... 2008). Robottia ympäröi viisi vetävillä rullilla varustettua rullakuljetinta (2), joista kaksi on ns. lavakuljettimia (3), eli ne on mitoitettu euro-kokoisten (1200 x 800) kuormalavojen siirtelyä varten. Kuljettimien kuormankantokyky ja siirtokapasiteetti on määritetty vastaamaan robotin maksimikapasiteettia. Lisäksi järjestelmässä on LAMK:n Tekniikan alalle vuonna 1992 hankittu ABB IRB 2000 -nivelsiirrobotti (4), johon on rakennettu seitsemäs ulkoinen akseli sijoittamalla robotti erillisille lineaarijohteille.

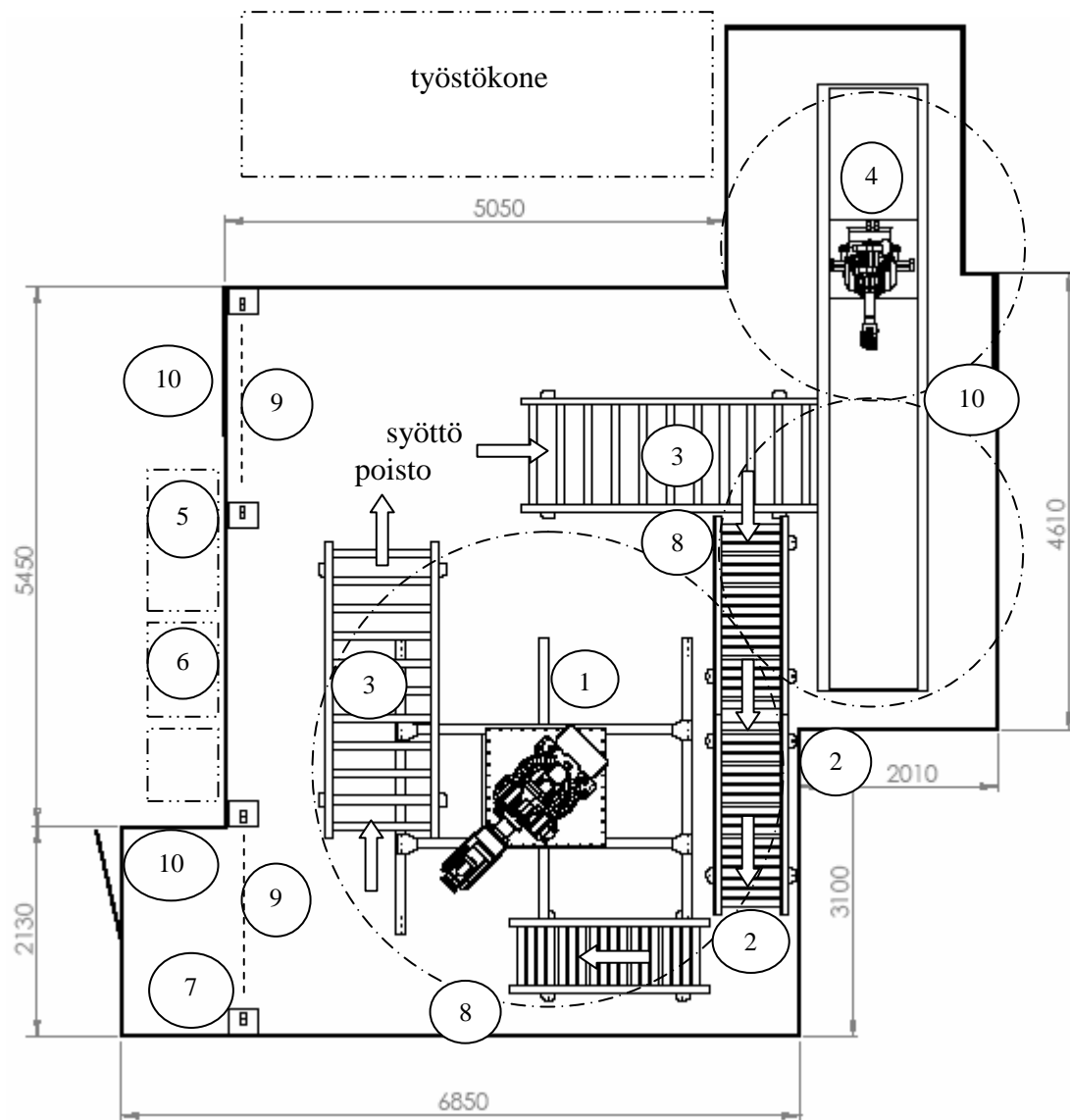
Robottisolun ohjausjärjestelmä (5) pohjautuu Siemens S7-300 -sarjan modulaarisiin loogiikkakomponentteihin ja hajautusyksiköihin. Tiedonsiirtoalusta on kolmitasoinen: tehdastason tiedonsiirto tapahtuu ethernet-verkossa, ohjaustasolla väylänä toimii Profibus ja anturitasolla AS-i<sup>2</sup>. Robotin oman käyttöliittymän (6) ohella koko järjestelmän opeointiin käytetään teollisuus-PC:hen asennettua InTouch-valvomo-ohjelmistoa (7), miltä käsin voidaan hoitaa mm. kuljettimien käsiajot ja nopeusasettelut sekä järjestelmän hälytysten kuittaukset. Tuotannon hallintaa varten solussa on UHF<sup>3</sup>-taajuusalueella toimiva Siemens RF-600 -saattomuistijärjestelmä (8), jolla voidaan suorittaa tunnistusten lu-

<sup>2</sup> Actuator Sensor interface – anturi- ja toimilaitetasen tiedonsiirtoon tarkoitettu kenttäväylämääritys

<sup>3</sup> Ultra High Frequency – radio(mikro)aaltojen taajuusalue 0,3–3,0 GHz

kua ja kirjoitusta maksimissaan kuuden metrin etäisyydeltä. Jotta järjestelmän käyttö olisi mahdollisimman turvallista, on solu suojattu kokonaisuudessaan turva-aidalla. Lisäksi kulkuaukkoja valvotaan valoverhoilla (9) ja ovia mekaanisilla turvarajakytkimillä (10).

Robottisolun kuljettimet sekä robottien tarttumat ja työkalut soveltuvat ensisijaisesti kappaleiden siirtelyyn ja työstämiseen. Vaikka järjestelmä on suunniteltu puutuotteiden jalostamista silmällä pitäen, on sen kapasiteetti riittävä myös huomattavasti painavampien kappaleiden käsittelemiseen. Tämä kuitenkin edellyttää paitsi työkalujen päivittämistä, myös lattiarakenteiden kantavuuden tarkistamista, jottei sallittuja neliökuormia ylitetä. Alustavasti on suunniteltu solun läheisyydessä olevan puunthyöstökoneen liittämistä järjestelmään siten, että se toimisi puolivalmisteiden tuottajana robottisolulle. Vaihtoehtoina on pohdittu myös erilaisia naulaus- ja kokoonpanosovelluksia sekä tuotesuunnitteluun ja uusien innovaatioiden kehittelyyn liittyviä ratkaisuja, kuten robotin ohjaamista konenäön avulla.



Kuvio 1: Robottisolun layout, laitteiden sijoittelu ja materiaalivirran etenemissuunta

### 3.2 Toimintakuvaus

Koska kyseessä on joustava tuotantosolu, ei sille ole määritetty mitään kiinteää työkiertoa, vaan eri työvaiheiden järjestystä on mahdollista muunnella tuotteiden vaihdella. Laitteiden ja komponenttien sijoittelu asettaa työkiervariaatioille kuitenkin omat rajoitteensa lähinnä materiaalivirran etenemissuunnan osalta. Pääpiirteittäin järjestelmällä tul-  
laan ajamaan seuraavanlaista työkiertoa:

1. Raaka-aineet tuodaan kuormalavalla syöttökuljettimelle (3), minkä jälkeen kuljetin siirtää lavan apurobotille (4).
2. Apurobotti poimii kappaleen lavalta, suorittaa sille ohjelmoidun työvaiheen (esim. hionta) ja siirtää puolivalmisteen siirtokuljettimelle (2).
3. Siirtokuljettimen alussa oleva RFID<sup>4</sup>-asema (8) tarkistaa tuotteessa olevan tunnisteen (tagin) sisällön ja päivittää siihen ko. kappaleelle tehdyt työvaiheet. Tämän jälkeen kuljetin siirtää tuotteen eteenpäin päärobotin (1) työskentelyalueelle.
4. Päärobotti suorittaa kappaleelle omat työvaiheensa, minkä jälkeen se siirtää tuotteen seuraavalle siirtokuljettimelle (2).
5. Kuljetin vie kappaleen toiselle RFID-tunnistusasemalle (8), missä suoritetaan tunnisteen lukeminen ja päivittäminen. Tässä vaiheessa on jo kyse valmiista tuotteesta, eli tagin tiedot voidaan päivittää myös tuotannonohjauksen tietokantaan.
6. Lopuksi päärobotti siirtää valmiin tuotteen poistokuljettimella (3) olevalle kuormalavalle, ja kun lava on täysi, siirretään se poistoon. Raaka-aineiden syöttöön käytetty lava palautetaan, ja sitä voidaan käyttää alustana seuraavan erän valmiille tuotteille.

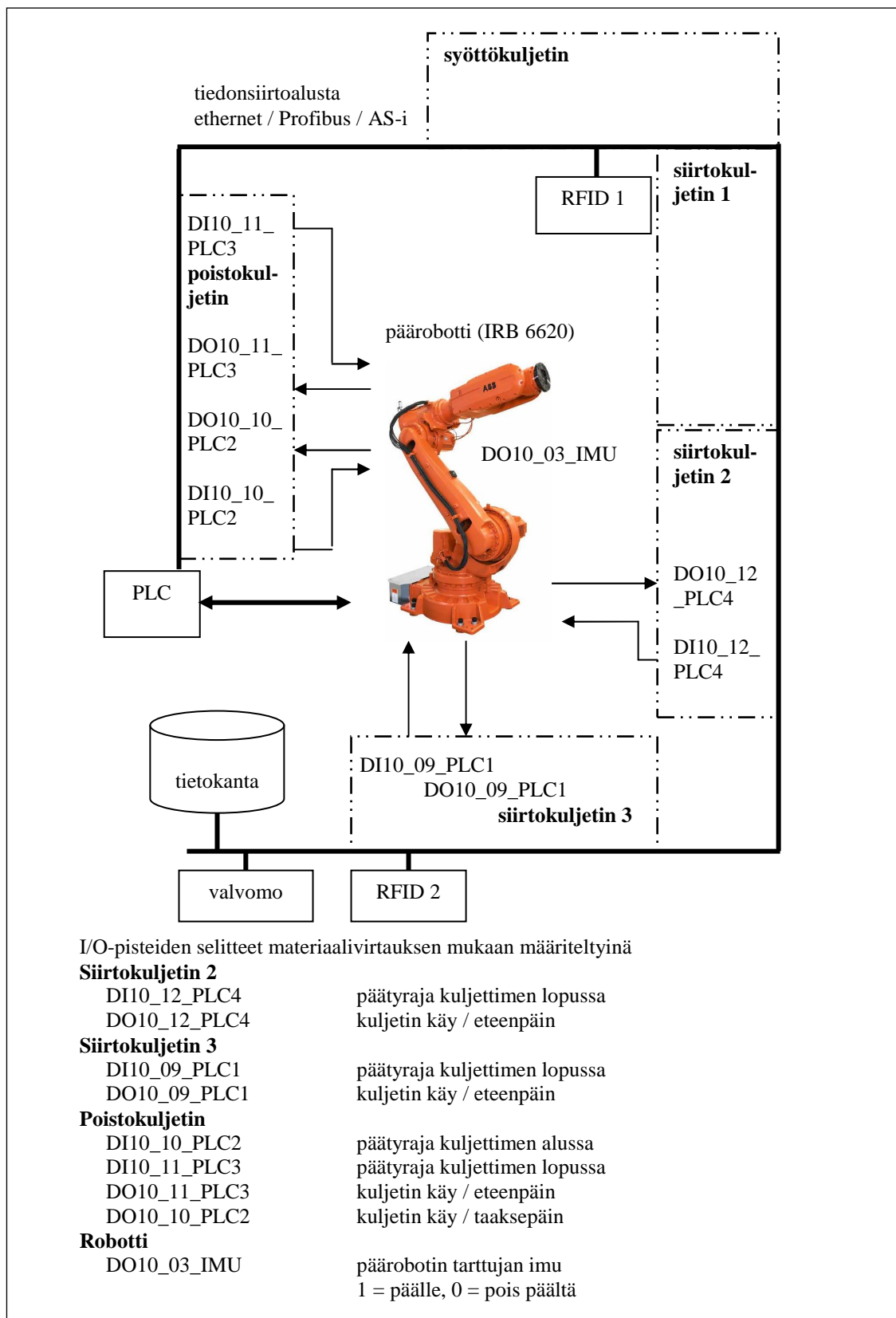
### 3.3 Ohjelmistojen ja mekaniikan väliset rajapinnat

Jotta robottisolun eri osat voisivat toimia keskenään oikea-aikaisesti yhdessä, tarvitaan järjestelmän ohjelmistojen ja mekaniikan välille tiedonsiirtoyhteys, eli I/O<sup>5</sup>-rajapinta. Järjestelmän ohjelmistot koostuvat robotin ohjausohjelmistosta, solun logiikkaohjauksesta, valvomo-ohjelmistosta sekä RFID-tunnistussovelluksesta. Vastaavasti mekaniikka rakentuu kahdesta robotista ja viidestä kuljettimesta. Koska päärobotti (IRB 6620) on järjestelmän keskeisin komponentti, voidaan sitä pitää eräänlaisena ”käskynjakajana”, mikä paitsi ottaa vastaan tilatietoa ympäröivältä järjestelmältä, myös jakaa tietoa ja toimintakäskyjä muille laitteille siinä järjestyksessä, mitä kulloinkin meneillään oleva työkierto edellyttää. Se, missä järjestyksessä robotti käskyjä jakaa, riippuu viime kädessä käyttäjän laatimasta ohjausohjelmasta, mikä on syötetty robotin ohjaimelle. Kuviossa 2 on esitetty päärobotin I/O-rajapintojen määräytymisen periaatteet kolmen viimeisen kul-

<sup>4</sup> Radio Frequency Identification – radiotaajuusalueella toimiva etätunnistusjärjestelmä

<sup>5</sup> Input / Output – tulot ja lähdöt

jettimen osalta. Kyse on nimenomaan robotin I/O-rajapinnoista, eli ne on konfiguroitu robotin ohjaimelle.



Kuvio 2: Robottisolun I/O-rajapintojen määrittämisen periaatteet

Vaikka päärobottia voidaan pitää järjestelmän tärkeimpänä laitteena, ja sillä on itsenäinen ohjausyksikkönsä, huolehtii kokonaisuuden hallinnasta ohjauskeskukseen sijoitettu ohjelmoitava logiikka, eli PLC<sup>6</sup>. Suurin osa robotin ulkoisesta I/O:sta on yhteydessä logiikkaan, ja siihen ohjelmoituun, koko solun ohjausohjelmaan. Siten myös robottiohjelmaan määritetyt toimilaitteiden ohjauskäskyt (esim. käynnistä siirtokuljetin 2 asettamalla lähtö DO10\_12\_PLC4 tilaan ”1”) välittyvät toimilaitteelle logiikan ohjausohjelman kautta. Logiikka kerää omien I/O-rajapintojensa ja tiedonsiirtoväyliensä välityksellä tietoa ympäröiviltä komponenteilta, esimerkiksi kuljettimien taajuusmuuttajilta ja RFID-järjestelmältä, ja osa tästä tiedosta välittyy tarvittaessa myös robotille. Saamiensa tilatietojen perusteella logiikka ohjaa järjestelmän toimilaitteita ohjausohjelmansa mukaisesti siten, että solun työkierto etenee vaaditulla tavalla.

Robottisolun tuotannon hallintaan ja seurantaan käytetään ethernet-tehdasverkkoon yhteydessä olevaa valvomo-ohjelmistoa sekä RFID-etätunnistusjärjestelmää. Valvomo-ohjelmiston käyttöliittymää on mahdollista muokata rajoituksetta sovelluskohteen mukaan. Tällä hetkellä valvomo-ohjelmistoa käytetään robottisolussa mm. kuljettimien kärsijöihin ja nopeusasetteluihin, erilaisten tilatietojen, kuten turvapiirin seurantaan sekä hälytysten kuittauksiin. Tunnistusjärjestelmän käyttöliittymänä on Visual Basic - pohjainen sovellus, miltä käsin RFID-järjestelmän ohjaimelle voidaan syöttää tunnistaiden luku- ja kirjoituskäskyjä. Saattomuistitagien rajallisesta kapasiteetista (100 bittiä) johtuen niihin ei voida kirjoittaa kovin suurta tietomäärää, vaan kyse on lähinnä tuotetietoon tai valmistushistoriaan liittyvistä koodeista tai ”avaimista”, joiden tarkempi sisältö on konfiguroitu solun yhteiseen tietokantaan.

### 3.4 Turvallisuusnäkökohdat

Koneiden turvallinen toiminta on erityisen tärkeää oppilaitoksissa, sillä laitteita käyttävät opiskelijat eivät vielä omaa laajaa ammatillista osaamista tai työkokemusta. Vaikka harjoitustyöt pääsääntöisesti tehdään opettajan valvonnassa, on laitteiden turvallinen toiminta varmistettava voimassa olevien säännösten<sup>7</sup> ja standardien mukaisilla teknisillä turvaratkaisuilla. Robottisolussa vaaratilanteiden ja tapaturmien riski on pyritty minimoimaan kaksinkertaisella suojauksella: Vaara-alueelle pääsy on estetty mekaanisella

<sup>6</sup> Programmable Logic Controller – ohjelmoitava logiikkaohjain

<sup>7</sup> mm. konedirektiivi, CE-merkintä, vaatimustenmukaisuusvakuutus, tekninen rakennetiedosto, vaaratekijöiden kartoittaminen, turvallistamistoimenpiteiden ensisijaisuusperiaate, toimittajan/tilaajan/työnantajan vastuut konelinjasta, Vna 403:n vaatimukset käytössä olevien työvälineiden turvallisesta käytöstä ja tarkastamisesta

suojauksella, eli solu on kokonaisuudessaan ympäröity turva-aidalla. Sähköinen suojaus on toteutettu turvarajakytkimillä sekä valoverhoilla, mitkä valvovat turva-aidassa olevia kulkuaukkoja. Lisäksi robotissa on omat sisäiset turvaratkaisunsa.

Turvalaitteiden tärkein tehtävä on estää vaara-alueelle pääsy koneen ollessa käynnissä tai käynnistymisvalmiudessa. Robottisolun osalta suurimmat turvallisuusriskit liittyvät robotteihin sekä kuljettimiin. Käynnissä olevan robotin liikealue sekä -energia voivat olla yllättävän suuria, mikä aiheuttaa paitsi iskeytymis-, myös puristumisvaaran. Kuljettimien osalta riskit liittyvät lähinnä pyöriviin osiin takertumisiin, sillä rullakuljettimissa ei ole mm. hihna- ja ketjukuljettimille tyypillisiä ”nielukohtia”, mitkä voisivat aiheuttaa puristumisvaaran. Saattomuistijärjestelmän osalta järjestelmässä käytetyt lähetystehot ovat niin matalia (0,1–2,0 W), ettei altistuminen antennien sähkömagneettiselle säteilylle aiheuta terveysriskiä, ellei työskennellä pidempiaikaisesti 25 senttimetriä lähempänä antennia.

Robottisolun ajotavat jaetaan automaattisille laitteille ja järjestelmille tyypilliseen tapaan *käsiajoon* sekä *automaattiajoon*. Käsiajotilassa robottisolua voidaan ohjata manuaalisesti esimerkiksi robotin käsiohjaimelta tai valvomopäätteeltä. Käsiajoa tarvitaan tyypillisesti robotin ohjelmoinnin yhteydessä, jolloin robotin työkalua ajetaan käsiohjaimella manuaalisesti pisteestä pisteeseen ja opetetaan tällä tavoin robotin liikerata. Automaattiajotilassa robotit ja muut solun toimilaitteet toimivat täysin automaattisesti robotin ohjaimelle ja PLC:lle syötettyjen ohjausohjelmien mukaisesti. Automaattiajotilassa työkierron toimintoja ei yleensä enää testata, vaan laitteiden liikesekvenssit, törmäystarkastelut yms. on todettu virheettömiksi jo aikaisemmin ajamalla työkierrat läpi askelittain tai osavaiheittain käsiajolla. Robottisolussa käsi- ja automaattiajotilojen valinta tehdään robotin ohjauskeskukseen sijoitetulla avainkytkimellä.

Robottien ja toimilaitteiden liikenopeudet ovat yleensä erilaiset riippuen ajotavasta. Käsiajovaiheessa joudutaan usein työskentelemään robotin vaara-alueella, esimerkiksi liikepisteitä ja koordinaatistoja opetettaessa, jolloin robotin liikenopeus ei saa olla suurempi kuin ”käyttäjän reagointinopeus”. Robottisolussa työkalun maksiminopeus on tällä hetkellä rajoitettu käsiajossa arvoon 250 mm/s. Toiminnan edellytyksenä myös robotin sisäisen hätä-seis -piirin on oltava kunnossa. Sen sijaan turvavaloverhot ja järjestelmän hätä-seis -piiri eivät vaikuta robotin käsiajoon.



Robotin automaattiajon salliva kytkentä on esitetty liitteessä 1. Auto-stop -piiriin on kytketty sarjaan ovirajat, valoverhot ja kuljetinjärjestelmän hätä-seis -piirit turvareleiden<sup>8</sup> apukärkien kautta (X5-rima: 24 V, 12 → 11, 6 → 5: 0 V, 7 → 9, 1 → 3). Kyseisen piirin katkeaminen aiheuttaa automaattiajotilassa hallitun auto-stop -pysäytyksen, mikä ei ole toimenpiteenä yhtä ”raju” kuin hätä-seis -pysäytys, mikä pysäyttää kaikki laitteet välittömästi. PLC:n osalta kuljettimien automaattiajo on mahdollista, kun turvavaloverho- ja järjestelmän hätä-seis -piiri ovat ehjiä.

On tärkeä muistaa, etteivät turvalaitteet takaa sataprosenttista turvallisuutta, vaan ratkaisevassa asemassa on myös käyttäjien oikea asenne sekä turvallisuuskoulutus. Robotisolun tämän hetkisillä turvaratkaisuilla on vaikea estää esimerkiksi tilannetta, jossa henkilö menee robotin vaara-alueelle ja toinen käyttäjä, joko tahallisesti tai tahattomasti käynnistää koneen vaara-alueen ulkopuolelta. Vaikka tämänkaltaiset vaaratilanteet olisi mahdollista estää käyttämällä esimerkiksi turvamattoja tai erilaisia kuittausproseduureja, oleellista ei ole absoluuttisen turvallisuuden hakeminen pelkästään teknisillä laiteratkaisuilla, vaan mahdolliset turvalaitteiden ulottumattomiin jäävät riskit voidaan eliminoida myös tiedolla, taidolla ja ennen kaikkea oikealla asenteella.

---

<sup>8</sup> kiinteästi langoitettu turvakomponentti, millä varmistetaan turvalaitteiden toiminta vaaratilanteessa sekä turvapiirien kuittaukset järjestelmän uudelleenkäynnistyksessä

## 4 Robottisolun hyödyntäminen automaatio-opetuksessa

Mekatroniikka-alan koulutus sisältyy Lahden ammattikorkeakoulun Tekniikan alalla Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelmaan (ks. liite 2). Yleissivistävien ja ammatillisten perusopintojen jälkeen opiskelijat suuntautuvat joko suunnittelu- tai tuotantopainotteisen mekatroniikan opiskeluun. Suunnittelupainotteisen suunnan (Mek) valinneet keskittyvät opinnoissaan pääasiassa mekaniikka-, automaatio- ja sähkösuunnitteluun, ja he sijoittuvat työelämässä lähinnä koneteknisiin suunnittelu-, käyttöönotto- ja ylläpito-tehtäviin. Tuotantopainotteisella suunnalla (Met) opiskelevat sen sijaan harjoittelevat enemmän tuotannon suunnitteluun ja ohjaukseen liittyviä taitoja, ja he työllistyvät tyypillisesti erilaisiin työnjohto- ja laadunvalvontatehtäviin. Tuotantopainotteisella suunnalla osa opinnoista (30 op) suoritetaan ohjattuna harjoitteluna työssä oppimalla. Nuori-soasteen lisäksi Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelmassa opiskelee myös vähintään yksi aikuisryhmä, joka suorittaa opintonsa monimuoto-opiskeluna pääasiassa tuotantopainotteisen mekatroniikan opetussuunnitelman mukaan.

Seuraavassa osassa esitellään sekä suunnittelu- että tuotantopainotteisen mekatroniikan opetussuunnitelmista ne opintojaksot, joissa uutta robottisolua on mahdollista hyödyntää tehokkaasti. Keskeisimpinä valintaperusteina on käytetty opintojaksojen ajallista sekä sisällöllistä sopivuutta, mikä tarkoittaa sitä, että opiskelijat hallitsevat kursseille tullessaan robottisolun turvalliseen käyttöön tarvittavat pohjatiedot ja -taidot, sekä myös sitä, että robottisolun hyödyntäminen opetuksessa todella edistää opintojaksojen sisältökuvauksissa määriteltyjä oppimistavoitteita. Valinta perustuu nimenomaan robottisolun käyttämiseen, ei esimerkiksi pelkästään solun eri osiin tutustumiseen opintojaksolle orientoitumisen yhteydessä.

### 4.1 Automaatio-opetus kokonaisuutena

Automaatio-käsite voidaan jakaa soveltamisalueensa mukaan monella eri tavalla. Tyypillisesti puhutaan prosessiautomaatiosta sekä kappaleenkäsittelyautomaatiosta. Tekniikan alana mekatroniikka kuuluu näistä jälkimmäiseen, eli mekatronisilla laitteilla käsitellään yleensä konkreettisia kappaleita, ei esim. virtaavia nesteitä tai kaasuja, kuten prosessiautomaatiossa. Prosessiautomaatio ja kappaleenkäsittelyautomaatio kuuluvat molemmat valmistusautomaatioon, mikä taas on tuotantoautomaation yksi alaryhmä.

Tuotantoautomaation rinnalle kuuluvat myös hallinto- sekä kiinteistö- ja kunnossapitoautomaatio. **Tuotantoautomaatio** toteutetaan usein automaattisten tuotantolinjojen tai -solujen ja robottien avulla. Tällöin puhutaan **robottiautomaatiosta**. Edellä mainittujen tekniikoiden toteuttaminen ei ole mahdollista ilman **koneautomaatiota**, mikä on eräänlainen yleisnimitys automaatiojärjestelmien perustekniikoille – antureille, ohjauslaitteille, toimilaitteille jne. Ne opintojaksot, joilla voidaan hyödyntää uutta robottisolua, kuuluvat kolmeen viimeksi mainittuun ryhmään. Opintojaksojen sisällöt on esitelty em. ryhmittelyn mukaisesti seuraavassa osassa:

### **Koneautomaatio**

#### **TIEDONKERUUJÄRJESTELMÄT JA MODULAARISET LOGIIKAT (4 op)**

Osaamistavoitteet: Opiskelija tuntee tuotantotekniikassa käytettävät yleisimmät tiedonkeruujärjestelmät sekä modulaaristen logiikoiden ohjelmoinnin perusteet.

Sisältö:

- tuotannon tiedonkeruujärjestelmät: viivakoodit, saattomuistit, konenäköjärjestelmät
- modulaaristen logiikoiden rakenne ja ohjelmointi

Edeltävät opinnot:

- Ohjaussuunnittelun perusteet, Digitaalitekniikka, Paikoituskäytöt

Suoritustapa ja arviointi:

- PBL-tietoiskut, harjoitustyöt, ohjelmointiharjoitukset, näyttökoe

Opiskelumateriaali:

- ilmoitetaan kurssin alkaessa

## VÄYLÄT JA VALVOMOT LOGIIKKAYMPÄRISTÖSSÄ (3 op)

### Osaamistavoitteet: Opiskelija

- tuntee tärkeimmät teollisuuden tiedonsiirrossa käytettävät kenttäväylät, niiden toimintaperiaatteet sekä peruskomponentit
- tuntee parametrisen ohjelmoinnin periaatteet
- hallitsee kenttäväylän konfiguroinnin ja muut tarvittavat alustukset (Pro-fibus)
- osaa laatia yksinkertaisia PLC-ohjelmia kenttäväylän kautta tapahtuvaa ohjausta varten
- tuntee valvomon toiminnan ja konfiguroinnin perusteet
- osaa liittää valvomon ohjelmoitavaan logiikkaan.

### Sisältö:

- kenttäväyläteknikan perusteet
- automaation käyttöliittymät
- teollisuus-ethernetin perusteet
- modulaariset logiikat väyläympäristössä
- valvomot

### Edeltävät opinnot:

- Ohjaussuunnittelun perusteet, Digitaalitekniikka, Paikoituskäytöt, Tie-donkeruujärjestelmät ja modulaariset logiikat

### Suoritustapa ja arviointi:

- PBL-tietoiskut, käytännön harjoitukset, näyttökoe

### Opiskelumateriaali:

- kirjallisuus, opettajan jakama luentomateriaali, laitevalmistajien katalogit ja manuaalit

## **Robottiautomaatio**

### **ROBOTIIKAN PERUSTEET (3 op)**

Osaamistavoitteet: Opintojakson suorittanut tuntee eri robottirakenteet ja niiden käyttömahdollisuudet sekä robotisoinnin perusteet ja tarraimet. Opintojaksolla perehdytään myös robotin ohjelmointiin käytännössä sekä off-line -ohjelmointiin virtuaalirobotilla. Opiskelija saavuttaa perusosaamisen robottisolujen käytännön toteuttamisesta ja robottien ohjelmoinnista.

Sisältö:

- johdanto ja historiaa
- robottityypit ja rakenteet
- robottien ohjelmointi
- robottitarraimet, työkalut ja aistinjärjestelmät
- robotisoinnin perusteet ja robottisovellukset
- turvallisuus
- käytännön ohjelmointi ABB-roboteilla

Suoritustapa ja arviointi:

- luennot, robottiohjelmointilaboraatiot ja verkkotehtävät

Opiskelumateriaali:

- luennot ja monisteet
- [http://tl-automaatio.lpt.fi/automaatio/opetus/luennot/pdf\\_tiedostot/Robotiikka\\_yleinen.pdf](http://tl-automaatio.lpt.fi/automaatio/opetus/luennot/pdf_tiedostot/Robotiikka_yleinen.pdf)

### **ROBOTIIKAN JATKOKURSSI (3 op)**

Osaamistavoitteet: Opintojakson suorittanut tuntee 3D-offline -ohjelmoinnin käyttömahdollisuudet. Opintojaksolla perehdytään robotin ohjelmointiin käyttämällä 3D-ohjelmointityökaluja. Opiskelija saavuttaa riittävän osaamisen ohjelmien käytössä, jotta hän kykenee toteuttamaan robottisolujen ohjelmointia 3D-offline -ohjelmistoilla. Lisäk-

si opiskelijaa saavuttaa riittävän osaamisen paketointi- ja palletointisovellusten luomisessa. Opintojaksolla opiskelijalle annetaan myös perustiedot useamman eri robottivalmistajan roboteista ja simulointiohjelmista, jolloin hän saa paremman kokonaiskäsityksen robottien ohjelmoinnista ja käytöstä.

**Sisältö:**

- robottisimulointi
- 3D-offline -ohjelmointi
- robottiprojektit, pakkaus ja palletointi sekä työstö
- lyhyt katsaus Kawasaki ja Motoman robottien ohjelmointiin

**Suoritustapa ja arviointi:**

- luennot, offline-ohjelmointilaboraatiot, pakkaus- ja palletointi- sekä työstölaboraatiot

**Opiskelumateriaali:**

- luennot, monisteet, manuaalit ja PC-ohjelmistot
- [http://tl-automaatio.lpt.fi/automaatio/opetus/luennot/pdf\\_tiedostot/Robottiikkaohjelmointi.pdf](http://tl-automaatio.lpt.fi/automaatio/opetus/luennot/pdf_tiedostot/Robottiikkaohjelmointi.pdf)
- [http://tl-automaatio.lpt.fi/automaatio/opetus/luennot/pdf\\_tiedostot/ABB\\_robottimanuaali.pdf](http://tl-automaatio.lpt.fi/automaatio/opetus/luennot/pdf_tiedostot/ABB_robottimanuaali.pdf)

**Tuotantoautomaatio**

**TUOTANNONOHJAUS (3 op)**

**Osaamistavoitteet:** Opiskelija tuntee teollisuusyrityksen toiminnanohjauksen perusteet, tavoitteet ja menetelmät.

**Sisältö:**

- tuotantomuodot
- valmistusjärjestelmät
- tuotannonohjaustyyppit
- työntutkimusmenetelmät

- rationalisointi ja tuottavuus

Suoritustapa ja arviointi:

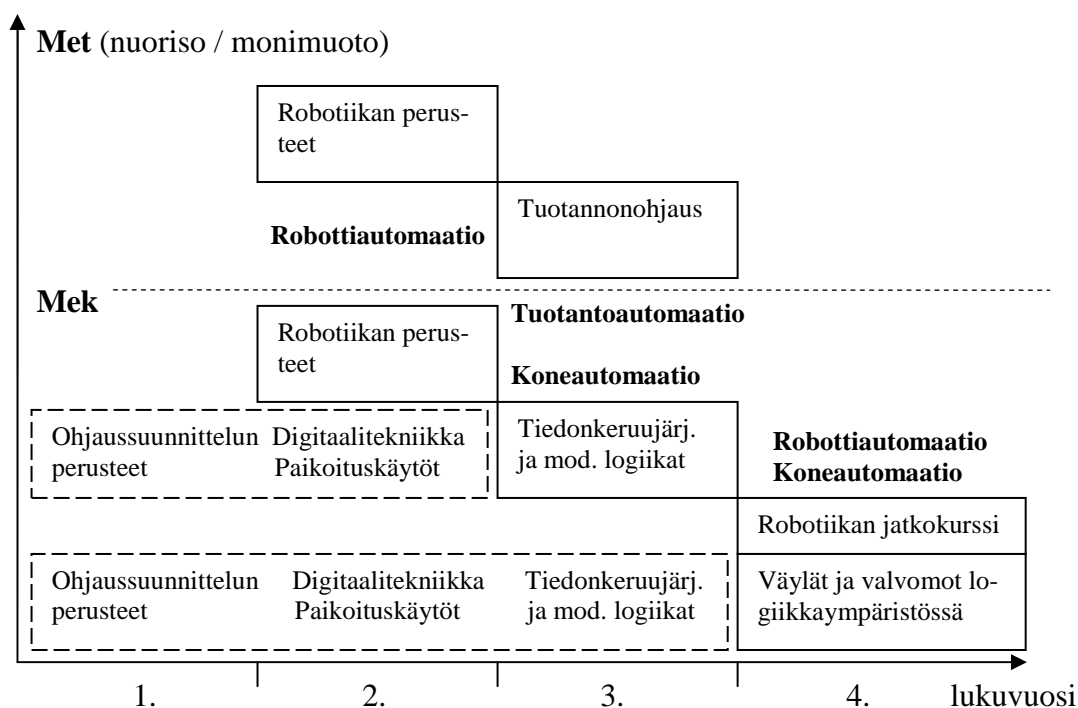
- PBL-oppimistehtävät, harjoitustyöt, harjoitukset ja kokeet

Opiskelumateriaali:

- ilmoitetaan opintojakson alkaessa

## 4.2 Pedagoginen tarkastelu

Jotta uuteen robottisoluun soveltuvia opintojaksoja olisi helpompi arvioida pedagogisena kokonaisuutena, on ne esitetty kuviossa 3 samassa koordinaatistossa opintosuunnan (Mek/Met) ja lukuvuoden mukaan ryhmiteltyinä. Kokonaisuuden selventämiseksi samaan kaavioon on merkitty myös kullekin opintojaksolle vaadittavat edeltävät opinnot.



Kuvio 3: Uuteen robottisoluun soveltuvat opintojaksot, ja niihin vaadittavat edeltävät opinnot (kehystetty katkoviivoin)

Sekä Mek- että Met-ryhmät saavat ensi kosketuksen robotiikkaan toisena lukuvuonna toteutettavalla Robotiikan perusteet -opintojaksolla. Kyseessä on peruskurssi, mikä antaa tärkeimmät pohjatiedot robottien rakenteesta, toiminnasta, ohjelmoinnista sekä turvallisesta käytöstä. Koska uuden robottisolun kokonaisvaltainen käyttö edellyttää opis-

kelijoilta pohjatietoja teollisuuden valvomo- ja tiedonsiirtojärjestelmistä sekä modulaaristen logiikoiden ohjelmoinnista, ei uusi robottisolu sovellu tälle opintojaksolle muuten kuin pelkän robotin ohjelmoinnin osalta. Tällöinkin on ehkä suositeltavaa perehtyä ensin LAMK:n Tekniikan alalle aikaisemmin hankittuihin ABB IRB 2000 ja IRB 4400 -robotteihin, koska ne ovat kooltaan pienempiä sekä tekniseltä rakenteeltaan ja ohjaukseltaan yksinkertaisempia ja siten ehkä helpommin ymmärrettäviä.

Mek-suunnan valinneet suorittavat kolmantena lukuvuonna opintojakson Tiedonkeruujärjestelmät ja modulaariset logiikat. Kyseinen opintojakso perehdyttää opiskelijat yleisiin teollisuudessa käytettäviin tunnistusmenetelmiin sekä ohjelmoitavan automaation osalta modulaaristen logiikoiden ohjelmointiin. Uusi robottisolu soveltuu tälle opintojaksolle sikäli hyvin, että sen ohjausjärjestelmänä käytetään modulaarista logiikkaa, ja lisäksi solu sisältää modernin RFID-etätunnistusjärjestelmän, mikä on vielä verrattain uutta tekniikkaa myös teollisuudessa. Sen sijaan uudessa robottisolussa ei hyödynnetä viivakoodeja eikä konenäköä, mutta alustavasti on pohdittu myös näiden tunnistustekniikoiden integroimista järjestelmään, etenkin jos uutta robottisolua tullaan käyttämään uusien innovaatioiden, kuten konenäköön perustuvan turvaohjauksen kehittelyyn. Uutta robottisolua on mahdollista hyödyntää tällä opintojaksolla myös edeltävien opintojen näkökulmasta, sillä opiskelijoilla on tarvittavat pohjatiedot ohjaus- ja paikoitusjärjestelmistä, digitaalitekniikasta sekä robotiikasta, eli vaikka opintojakso painottuukin lähinnä logiikkaohjelmointiin, pitäisi opiskelijoilla olla tarvittavat valmiudet myös robotin ohjauksen ja logiikkaohjelman välisten I/O-rajapintojen operointiin.

Met-suunnan opiskelijat suuntautuvat kolmantena lukuvuonna tuotannon hallintaan liittyviin opintoihin, joten heillä ei enää tässä vaiheessa ole ohjelmoitavaan automaatioon liittyviä pakollisia opintojaksoja. Uuteen robottisoluun soveltuu ehkä parhaiten Tuotannonohjaus-opintojakso, mikä perehdyttää opiskelijat teollisuusyrityksen toiminnanohjaukseen sekä tuotanto- ja valmistusjärjestelmiin. Tällä opintojaksolla uusi robottisolustaattaisi palvella opiskelijoita lähinnä tuotannon suunnittelun ja rationalisoinnin osalta, esimerkiksi solun avulla toteutettavan investointi- ja kannattavuuslaskennan kautta. Varsinainen solun käyttäminen esimerkiksi laskennallisten tuotantomäärien todentamiseen saattaa tälle ryhmälle tuottaa vaikeuksia, sillä heillä ei ole robotin ohjausta lukuun ottamatta solun ohjausjärjestelmän käyttöön tarvittavia pohjatietoja.

Neljäntenä lukuvuonna Mek-suunnan opiskelijat erikoistuvat joko mekaniikkasuunnitteluun tai sähkö- ja automaatiosuunnitteluun. Näistä ensimmäisen valinneet voivat syven-



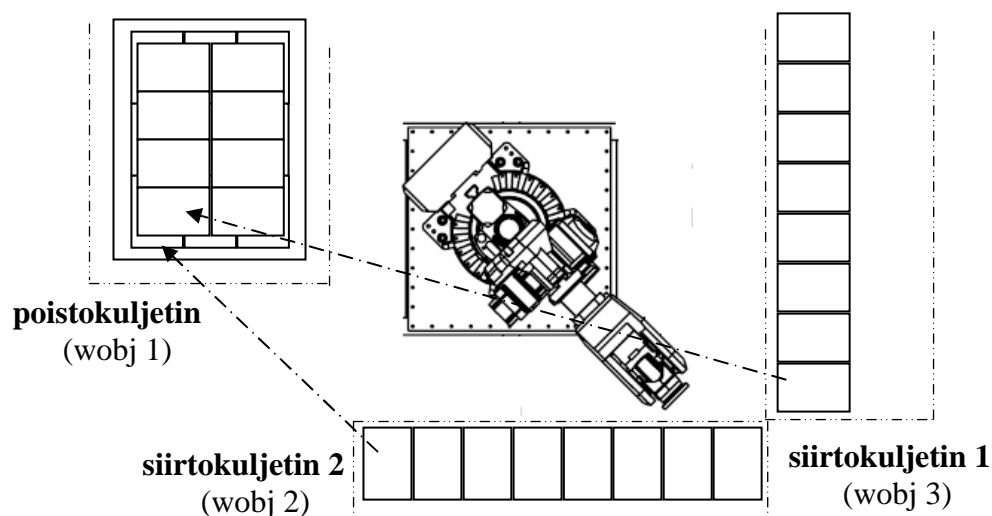
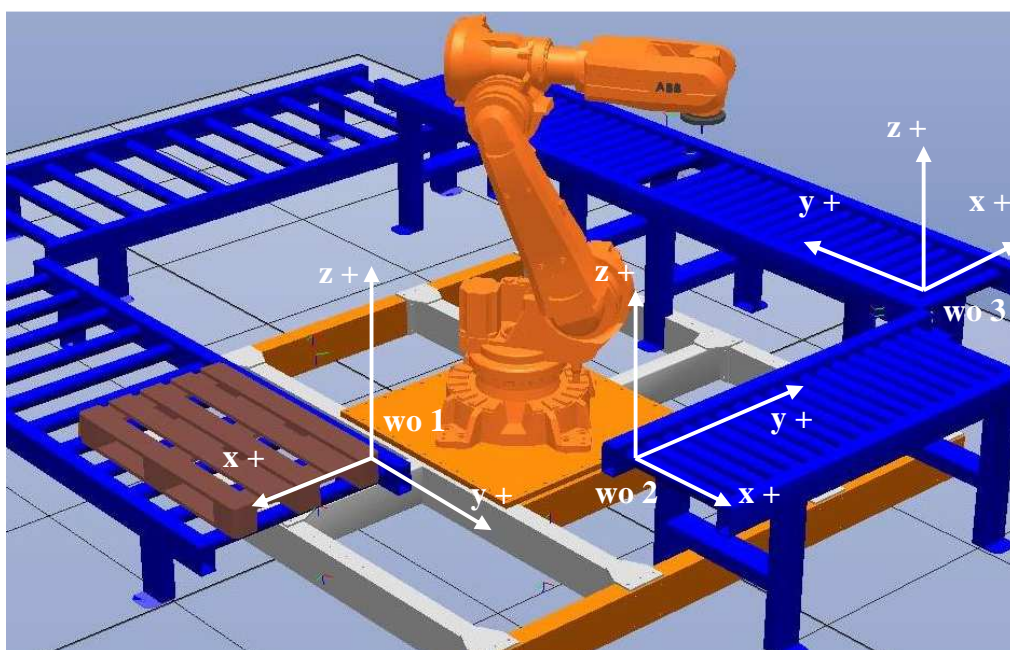
tää osaamistaan myös robotiikassa suorittamalla kolmen opintopisteen laajuisen Robotiikan jatkokurssin, mikä tutustuttaa opiskelijat robotiikan hienouksiin, kuten robotisimulointiin, 3D-offline -ohjelmointiin sekä erilaisiin robotisointiprojekteihin. Sähkö- ja automaatio-suunnittelun erikoistumisopinnot sisältävät niin ikään kolmen opintopisteen laajuisen Väylät ja valvomot logiikkaympäristössä -opintojakson, minkä keskeisenä sisältönä on perehdyttää opiskelijat teollisuudessa käytettäviin valvomo- ja tiedon-siirtojärjestelmiin. Molemmat em. opintojaksot syventävät edelleen opiskelijoiden osaamista myös robottien ja logiikoiden ohjelmoinnista, ja ne molemmat soveltuvat oppisisältöjensä sekä pohjatietojensa puolesta hyvin uuteen robottisolun. Tilanne olisi ideaalinen, mikäli opiskelijoilla olisi mahdollisuus suorittaa ensin väyliin ja valvomoihin liittyvä opintojakso, ja vasta sen jälkeen robotiikan syventävä kurssi, koska tällöin opiskelijat saisivat parhaan käsityksen robotisointiprojektista kokonaisuutena; mitä eri tekniikoita tarvitaan solun keskeisimmän komponentin – robotin tueksi, sekä miten nämä komponentit integroidaan osaksi solun ohjausjärjestelmää.

### 4.3 Opintojaksojen toteuttaminen (case-esimerkki)

Se, millä tavoin uutta robottisolua tullaan eri opintojaksoilla tulevaisuudessa hyödyntämään, riippuu viime kädessä opintojaksojen vastuunopettajista. Uuden robottisolun käytön hallitsevat tällä hetkellä parhaiten robotiikan vastuulehtori sekä solun rakentamisesta ja ylläpidosta vastaava projekti-insinööri. Muiden opettajien osalta solun tehokas linkittäminen opetukseen vaatii perehtymistä ja kouluttautumista, eikä voi edellyttää, että kaikki automaatio- tai tuotantotekniikan opettajat ottaisivat solun osaksi opetustaan ainakaan vielä tulevan lukuvuoden (2009–2010) aikana. Robotiikan opetuksen osalta solun käyttöönotto onnistunee helpommin, sillä alan opettajalla on jo vahva perusosaaminen robottitekniikasta ja robottien ohjelmoinnista. Mekatroniikan automaatio-opetuksen osalta realistisena tavoitteena voidaan pitää robottisolun hyödyntämistä yhden opintojakson toteutuksessa joko syksyllä 2009 tai keväällä 2010.

Mekatroniikan ammattiaineiden opetuksessa hyödynnetään ongelmalähtöistä opetustapaa (PBL), missä opiskelu pohjautuu käytännönläheisten oppimisongelmien työstämiseen pienryhmissä. Uusi robottisolu soveltuu PBL-pohjaiseen opiskeluun erittäin hyvin, koska kyse on hyvin monipuolisesta teknisestä kokonaisuudesta, mikä on kuitenkin toiminnaltaan sekä tekniseltä rakenteeltaan selkeästi rajattu. Opiskelijoita voisi perehdyttää robotiikan, automaatiotekniikan ja mahdollisesti myös tuotantotekniikan opiskeluun seuraavanlaisen oppimiscasen avulla:

Lahtelainen virvoitusjuoma- ja panimoalan yritys tilaa edustamaltasi insinööritoimistolta kuvan 4 mukaisen lavaussovelluksen. Tarkoituksena on kasata  $x * y * z$  kokoisia pahvisia virvoitusjuomatiivistelaatikoita eurokokoa olevalle kuormalavalle kahteen kerrokseen siten, että laatikot ovat lavalla symmetrisesti kuvan mukaisissa suunnissa pohjakerros pitkittäin ja pintakerros poikittain. Pohjakerrokseen lavataan yhdeksän laatikkoa ja pintakerrokseen kahdeksan laatikkoa. Pohjakerroksen laatikot poimitaan ensin siirtokuljettimelta 2, mihin mahtuu maksimissaan kahdeksan laatikkoa ja pintakerroksen laatikot siirtokuljettimelta 1, mille syötetään jatkuvasti uusia laatikoita. Kaikki laatikot ovat samanlaisia. Järjestelmän työkierto tulisi suunnitella siten, että lavausnopeus olisi maksimaalinen, mutta kuitenkin niin, ettei robottia kuormiteta tarpeettomasti.



Kuvio 4: Oppimisongelman tilannekuvaus

Edellä esitelty ”lavausongelma” on ns. *trigger*-tyyppinen case. Sen tarkoituksena ei ole antaa opiskelijoille kaikkia ongelman ratkaisemisessa tarvittavia lähtötietoja, vaan pikemminkin kyseessä on avoin ongelma, mikä ainoastaan määrittää tietyt reunaehdot ongelmalle ja toimii siten keskustelun käynnistäjänä ryhmässä. Esimerkkicase sisältää lyhyen tekstiosuuden sekä tekstiä selventävän kuvan. Niiden avulla opiskelijat pääsevät alkuun ongelman ratkaisemissa.

Insinöörit joutuvat työssään pohtimaan edellä kuvatun kaltaisia avoimia ongelmia. Esimerkiksi tarjouspyyntöjen laatijat eivät läheskään aina hallitse kaikkia teknisiä yksityiskohtia, vaan usein tarjouspyynnössä kerrotaan ainoastaan, miten laitteen tulisi toimia. Tarkempi toiminnallinen ja tekninen määrittely jää usein tarjoajan tai toimittajan vastuulle, mikä tietysti kuuluu oleellisena osana heidän toimenkuvaansa. Lavausongelmasa opiskelijat joutuvat pohtimaan mm. seuraavanlaisia ongelman toiminnalliseen määrittelyyn liittyviä tarkentavia kysymyksiä:

- ovatko siirtokuljettimet tyhjiä työkierron alussa, ja missä kohtaa kuormalava sijaitsee
- mistä laatikot tulevat siirtokuljettimelle 2, tuleeeko kuljettimelle enempää kuin mainitut kahdeksan laatikkoa
- onko kuljettimia mahdollista paikoittaa tarkasti vai ajetaanko niitä pelkästään rajakytkimeltä toiselle
- mistä kohtaa laatikot poimitaan siirtokuljettimilta
- millaista robottitarttujaa käytetään
- onko kuormalava paikallaan lavauksen aikana
- mistä saadaan yhdeksäs laatikko pohjakerrokseen, ja miten laatikon kääntö ja asemointi toteutetaan
- ...?

Casen avausvaiheessa tutorilla on tärkeä rooli ohjata ryhmää epäselvissä kohdissa ja varmistaa, että casen työstäminen etenee oikeaan suuntaan. Vaikkei caseissa yleensä olekaan vain yhtä oikeaa ratkaisua, on ongelmanratkaisuprosessin edettävä kuitenkin niin, että se tuottaa realistisen lopputuloksen, ja casen aihepiiriin liittyvät oppisisällöt tulevat käsiteltyä. Tutor ei kuitenkaan saa antaa liikaa valmiita vastauksia, vaan pikemminkin kyse on johdattelevien vihjeiden antamisesta siten, että opiskelijoille jää mah-

dollisuus myös omiin oivalluksiin. Lisäksi tutorilla pitää olla herkkyyttä ymmärtää, että ensimmäistä kertaa casen aihepiiriin tutustuvilla opiskelijoilla ei vielä ole riittävää rutinua ymmärtää kaikkia caseongelman määrittelyyn liittyviä ”hienouksia”. Esimerkiksi lavauscasessa opiskelijoita kannattaa johdattaa pohtimaan laatikon ominaisuuksia; sovelluksessa käsitellään pahvilaatikoita, jotka eivät välttämättä ole mittatarkkoja, sivut eivät ole suoria ja pohja sekä kansi eivät ole tasaisia. Laatikon ominaisuudet vaikuttavat paitsi robotin liikeratoihin, myös siihen, miten tiiviisti laatikot on mahdollista lataa lavalle. Lisäksi pitää ottaa huomioon mahdolliset häiriötilanteet, laatikon rikkoutuminen, takertuminen, irtoaminen tarttujasta jne.

Lavauscasen teknisessä määrittelyssä opiskelijoiden huomio oletettavasti kiinnittyy avoimiin kysymyksiin, kuten mitä tarkoittaa ”eurokoko” sekä ”maksimaalinen lavausnopeus”? Entä millä tavoin lavausnopeus vaikuttaa robotin kuormitukseen, ja minkä tyyppisestä kuormituksesta ylipäänsä on kysymys? PBL-oppimisprosessiin kuuluu oleellisena osana itsenäinen tiedon hankinta, ja em. kysymysten selvittämisen voi ainakin osittain jättää opiskelijoiden vastuulle kuitenkin niin, että heillä on käytettävissään riittävän kattava lähdemateriaali. Epäselväksi jääneitä asioita on mahdollista tarkentaa avauksen jälkeen pidettävillä tietoiskutyypisillä luennoilla, joilla pyritään opettamaan keskeisin caseongelman ratkaisemisessa tarvittava teoreettinen ydintietämys. Lavauscasessa valtaosa tietoiskuista kannattaa toteuttaa pienryhmittäin käytännön harjoitteluna robottisolulla, sillä solun käyttöä ei ole mahdollista oppia perehtymällä pelkästään kirjallisiin lähteisiin tai verkkomateriaaleihin.

Casen purkuvaiheessa palataan alkutilanteeseen, arvioidaan tehtyjen alkuolettamusten paikkaansapitävyyttä ja pohditaan henkilö- ja ryhmäkohtaisen osaamisen<sup>9</sup> kehittymistä. Casen purun yhteydessä jokainen pienryhmä esittelee myös oman näkemyksensä caseongelman ratkaisuksi. Lavauscasessa casen purku kannattaa toteuttaa siten, että kukin pienryhmä esittelee oman lavausratkaisunsa käytännössä, suorittamalla työkierron testiajon robottisolulla. Ratkaisun toimivuutta pohditaan testiajon jälkeen yhteisesti, ja lopuksi jokainen pienryhmä laatii kirjallisena tuotoksena esittelyn omasta ohjausohjelmastaan joko vuokaavioesityksenä tai pseudokoodina<sup>10</sup>. PBL-prosessissa ei ole oleellista arvioida pelkästään lopputuloksen toimivuutta, vaan yhtä tärkeää on reflektoida myös

<sup>9</sup> tässä tarkoitetaan osaamista yleensä, ei E. Poikelan (2000, 72) määritelmää, minkä mukaan osaamista syntyy vasta kokemustiedon ja hiljaisen tiedon yhteisvaikutuksesta

<sup>10</sup> universaali ohjelmakoodien esitystapa

sitä oppimisprosessia, mikä kyseiseen lopputulokseen on johtanut – laadukas oppimisprosessi johtaa yleensä myös toimivaan lopputulokseen.

Tutor voi arvioida pienryhmänsä oppimisprosessia ja osaamisen tasoa tarkkailemalla caseongelman ratkaisuun liittyviä yksityiskohtia. Esimerkiksi seuraavat tekijät vaikuttavat oleellisesti mm. robotin kuormitukseen, työkierron muunneltavuuteen, häiriöherkkyyteen sekä nopeuteen:

- miten paljon robotin liikeradalla on opetettuja pisteitä, ja miten ”kulmikas” liikerata on
- onko jokaiselle laatikolle opetettu oma lavauspisteensä, vai paikoitetaan ko laatikot suhteessa kiinteään nollapisteeseen
- miten ohjelmassa on käytetty muuttujia sekä erilaisia toistorakenteita
- millaisessa tulokulmassa laatikot tuodaan kuormalavalle
- miten ”yhdeksän laatikon” nouto, kääntö ja kierto on toteutettu?

Liitteessä 3 on esitetty yksi tapa caseongelman ratkaisemiseksi. Kyseisessä robotin ohjausohjelmassa on pyritty huomioimaan paitsi caseongelman vaatimukset, myös edellä kuvatut arviointikriteerit. Työkierron toteutus on pääpiirteittäin seuraavanlainen:

Tyhjä kuormalava siirretään työkierron alussa poistokuljettimen alkupäähän, minkä jälkeen robotti noutaa ensimmäiset kahdeksan laatikkoa siirtokuljettimen 2 loppupäästä. Siirtokuljetinta ajetaan eteenpäin kunkin laatikon jälkeen siten, että uusi laatikko voidaan poimia aina samasta kohtaa. Kuormalava on paikallaan lavauksen aikana, ja laatikoiden sijaintipisteet lasketaan yhden peruspisteen mukaan, mikä tässä tapauksessa on määritetty ensimmäisen lavalle lasketun laatikon vasempaan etukulmaan. Uusi laatikko tuodaan lavalle aina lähestymispisteen kautta viistosti siten, etteivät laatikot voi törmätä tai takertua toisiinsa. Yhdeksäs laatikko noudetaan siirtokuljettimen 1 loppupäästä, mitä ennen robotin tarttujaa käännetään 90 astetta siten, että robotin kääntyessä kohti kuormalavaa, laatikko automaattisesti kääntyy oikein päin. Lavaus suoritetaan IF - THEN - ELSE -rakennetta noudattaen rivi-, sarake- ja kerros-muuttujien avulla siten, että valmiin lavan pohjakerrokseen tulee 3 x 3 laatikkoa ja pintakerrokseen 4 x 2 laatikkoa. Ylemmässä kerroksessa käytetään korjauskertoimia sekä x- että y-suunnissa siten, että valmiista laatikkomuodostelmasta saadaan symmetrinen. Sekä siirto- että poistokuljettimia käynnistetään pulsseilla robotin ohjaimen kautta, eli ohjain lähettää kuljettimia oh-

jaavalle logiikalle esim. yhden sekunnin pituisen pulssin, minkä jälkeen logiikka ohjaa kulloinkin kyseessä olevaa kuljetinta itsenäisesti ennalta laaditun ohjelman mukaisesti. Tällä tavoin varmistetaan, etteivät kuljettimet vahingossa jää päälle, jos käyttäjä ei jostain syystä pysäytä niitä robotin ohjaimelta käsin.

## 5 Etätunnistussovelluksen toteuttaminen robottisolulla

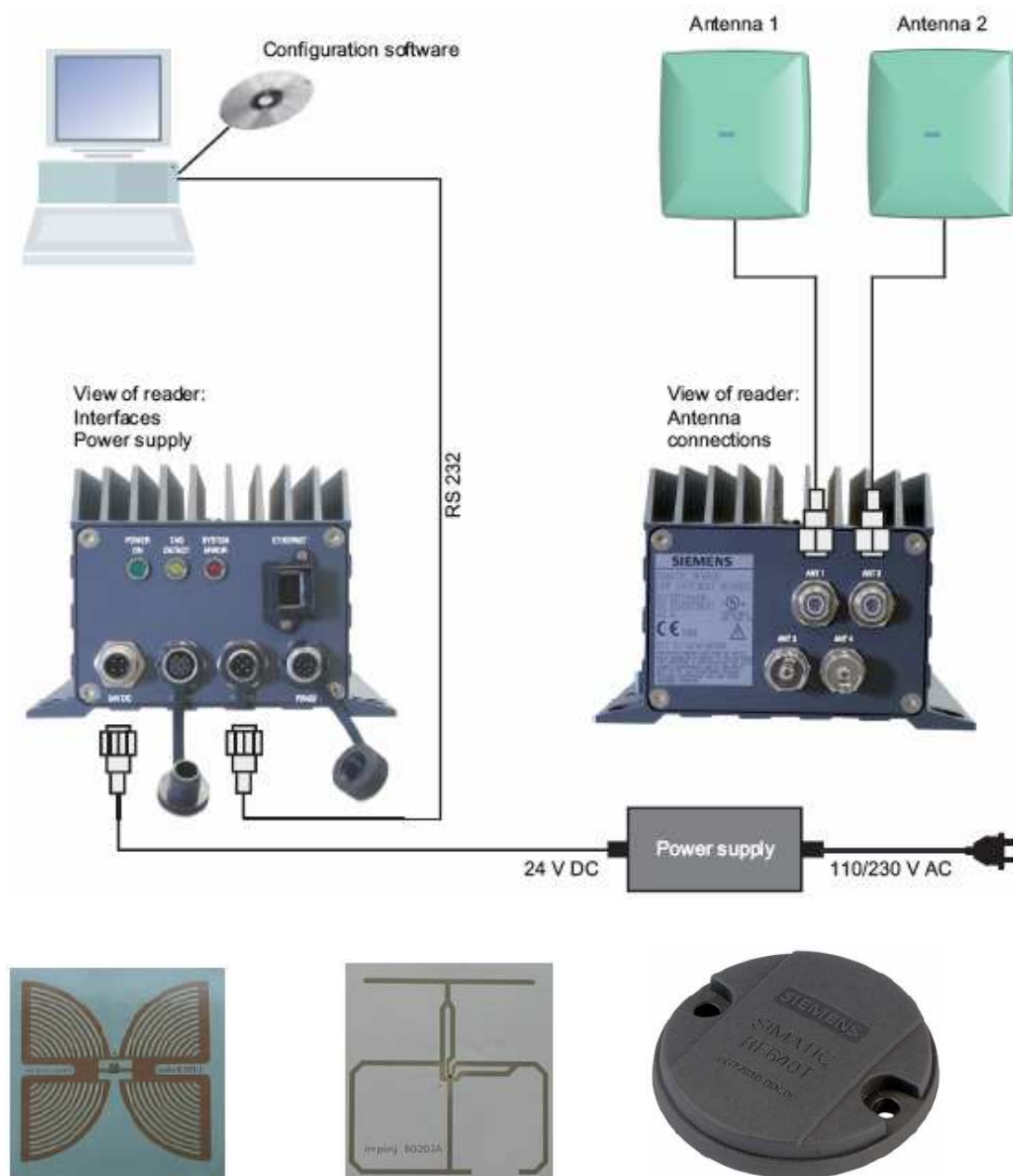
Seuraavassa osassa käydään pääpiirteittäin läpi robottisolussa käytettävän RFID-etätunnistusjärjestelmän rakenne ja toiminta. Lisäksi pohditaan, millä tavoin järjestelmää on mahdollista soveltaa puutuotteiden tunnistamisessa. Esitys sisältää yleisellä tasolla vaatimusmäärittelyn robottisolua koskevaan jatkotutkimukseen, minkä tavoitteena on toteuttaa ja testata konkreettinen tunnistussovellus robottisolulla.

### 5.1 RFID-järjestelmän rakenne ja toiminta

RFID-tekniikassa on kyse kosketuksettomasta menetelmästä, minkä avulla voidaan toteuttaa kappaleiden tunnistamista ilman, että tuotteita tarvitsee pysäyttää luku- ja kirjoitusoperaatioiden ajaksi. Järjestelmän toiminta perustuu UHF-taajuusalueen (865–868 MHz) radioaaltoihin, joiden välityksellä tunnistaisiin (tageihin) on mahdollista syöttää sekä teho että data. Tageihin voidaan kirjoittaa uutta tietoa, ja niistä voidaan lukea dataa jopa kymmenen metrin etäisyydeltä siten, että useita tunnisteita pystytään identifioimaan samanaikaisesti. Ympäristön häiriötekijät, antennien sijoittelu sekä tunnisteen tyyppi vaikuttavat toimintaetäisyyteen siten, että käytännössä operointi tapahtuu yleensä 3–5 metrin etäisyydeltä. Teollisuudessa RFID-tekniikkaa sovelletaan nykyisin muun muassa tuotteiden varastoinnissa, logistiikassa sekä tuotannon hallinnassa.

Robottisoluun asennetun RFID-järjestelmän pääosat on esitetty kuviossa 5. Järjestelmä koostuu luku- / kirjoitusyksiköstä, antenneista sekä konfigurointi- ja diagnostiikkaohjelmistosta. Luku- / kirjoitusyksikkö on järjestelmän keskeisin komponentti. Se sisältää operoinnissa tarvittavan ”älykkyyden” ja liittynät prosessin muuhun automaatio- ja tuotannonhallintainfrastruktuuriin. Yksikössä on sarja- ja ethernet-liittynät (100 Mbit/s) sekä kolme digitaalituloa ja -lähtöä, joihin voidaan kytkeä esimerkiksi tunnistustoiminnan laukaisevia triggaus- ja kulunvalvonta-antureita. Järjestelmän konfigurointiin ja ylläpitoon on mahdollista käyttää joko sarja- tai ethernet-liityntää. Ethernet toimii myös kytkentäväylänä järjestelmän muuhun automaatioympäristöön, eli sen kautta tunnistetiedot voidaan välittää esimerkiksi robotin ohjaimelle, ohjelmoitavalle logiikalle tai tuotannonohjauksen tietokantaan.

Yhteen luku-/kirjoitusyksikköön on mahdollista kytkeä maksimissaan neljä antennia. Antennit toimivat pareittain siten, että toinen antenni lähettää tunnisteele sen tarvitseman tehon sekä tiedon tulevasta luku- tai kirjoitustapahtumasta. Tämän jälkeen toinen antenni vastaanottaa tagilta saapuvan signaalin, tai jos kyse on kirjoitustapahtumasta, lähettää datasiinaalin tunnisteele.



Kuvio 5: RFID-etätunnistusjärjestelmän pääosat (alla tyypillisiä passiivitunnisteita) (RFID Systems... 2008)

RFID-etätunnistusjärjestelmissä käytetään yleisesti niin sanottuja *passiivitageja*. Tämän tyyppiset tunnistheet eivät sisällä omaa virtalähdettä, vaan ne saavat tiedon tallentami-



seen ja lähettämiseen tarvittavan energian induktiivisesti antennien muodostamasta sähkömagneettisesta kentästä. Tunniste rakentuu pienestä mikrosirusta sekä antennista, mikä on tagin näkyvin osa. Komponentit voidaan kiinnittää joko tarrapaperille tai laminoida ohuelle muovikalvolle. Vaikeissa käyttöolosuhteissa (kuumuus, kosteus, mekaaninen kuluminen yms.) voidaan käyttää myös erilaisia koteloituja tunnisterakenteita.

Tunnisteiden muistikapasiteetti riippuu tagityypistä sekä käytetystä tiedonsiirto-protokollasta. Vaikka kapasiteetti voi olla maksimissaan 2048 bittiä, riittää tuotetiedon koodaamiseen yleensä alle 100 bittiä. Yleisesti käytetään 96-bittistä EPC-koodia<sup>11</sup>, mikä sisältää kentät yritys-, tuoteryhmä- sekä artikkelikohtaiselle datalle. Tageihin voidaan kirjoittaa tietoa vähintään 100 000 kertaa, ja datan teoreettinen säilyvyys on noin kymmenen vuotta.

## 5.2 Puutuotteiden tunnistaminen

Robottisolun RFID-järjestelmään painottuvan jatkotutkimuksen keskeisenä tavoitteena on selvittää, millä tavoin etätunnista on mahdollista soveltaa automaattisen tuotantosolun ohjauksessa sekä tuotantotiedon hallinnassa. Soluun ohjelmoidaan aitoa tuotantoprosessia simuloiva työkierto, minkä avulla RFID-järjestelmästä testataan vähintään seuraavat tunnistetiedon käsittelyyn liittyvät toiminnot:

- a) tunnistneiden luku- ja kirjoitusoperaatiot
- b) tunnistetiedon lisäys- ja poisto-operaatiot (tietokannassa)
- c) tunnistetiedon haku tietokannasta.

Edellä mainitut vähimmäisvaatimukset toteutuvat esimerkiksi seuraavanlaisella työkierrolla:

1. Puutuotteet tuodaan kuormalavalla syöttökuljettimelle (3), mikä siirtää lavan ensimmäiselle RFID-tunnistusasemalle (8). Tuotteet ovat kappaletavaraa, ja ne on identifioitu kahdella eri tavalla koodatuilla (esim. EPC) tarratunnisteilla. Triggerus-signaalin saatuaan RFID-asema lukee tunnistneiden sisällön ja siirtää tiedot tuotannon tietokantaan. Tunnistamisen jälkeen apurobotti (4) siirtää kappaleet siirtokuljettimelle (2).
2. Siirtokuljetin siirtää kappaleet eteenpäin päärobotin (1) työskentelyalueelle. Päärobotti poimii kappaleet siirtokuljettimelta ja käyttää niitä yksitellen toisella

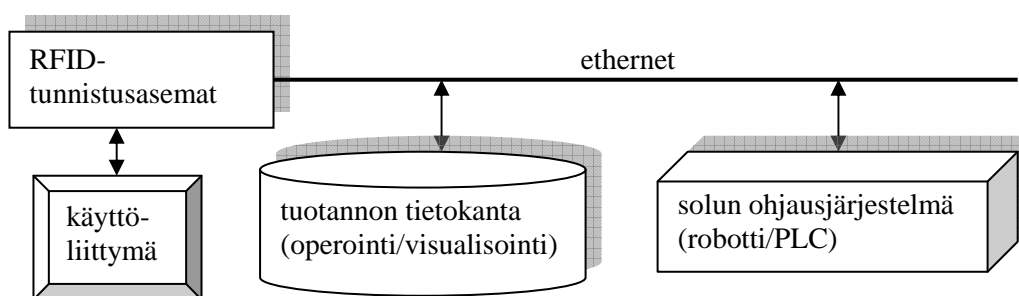
---

<sup>11</sup> Electronic Product Code – sähköinen tuotekoodi

RFID-tunnistusasemalla. Tyypin 1 tunnisteen sisältävät kappaleet lavataan (pää-robotilla) poistokuljettimella (3) olevalle kuormalavalle alimpaan kerrokseen. Tyypin 2 kappaleet siirretään viimeisen siirtokuljettimen loppupäähän, ja kuljettinta ajetaan taaksepäin aina sen verran, että kuljettimen loppuun jää riittävästi tilaa uudelle kappaleelle. Jokaisen lukutapahtuman jälkeen vastaava tunnistetieto poistetaan tuotannon tietokannasta.

3. Kun kuormalavan pohjakerrokseen on ladottu tietty määrä kappaleita, aloitetaan uuden kerroksen lavaaminen siirtokuljettimella olevilla kappaleilla. Päärobotti poimii kappaleet kuljettimen loppupäästä ja siirtää ne yksitellen RFID-asemalle, missä tageihin kirjoitetaan uusi tunnistetieto. Tämän jälkeen kappaleet siirretään kuormalavalle.
4. Kun kuormalavan toiseen kerrokseen on ladottu riittävä määrä kappaleita, päärobotti keskeyttää työkiertonsa, ja täysi kuormalava siirretään poistoon. Seuraava työkierto voidaan simuloida käyttäen edellisellä työ kierrolla kuormattua lavaa. Tämä mahdollistaa testauksen varioinnin, sillä lavan ylemmässä kerroksessa olevat kappaleet sisältävät myös uudelleen koodattua dataa.

Jatkotutkimus rajataan testausympäristön suunnitteluun, toteutukseen sekä toiminnan todentamiseen ja analysointiin. Pyrkimyksenä ei ole toteuttaa ominaisuuksiltaan tarkasti rajattua, teollisuudessa käytössä olevaa tunnistussovellusta, vaan pikemminkin kyse on yleiskäyttöisestä sovellusrungosta, mitä on mahdollista muokata opetustoiminnan sekä yritysprojektien vaatimusten mukaan. Laitetekniikan ja ohjelmistojen osalta työ rajoittuu kuviossa 6 esitettyihin osa-alueisiin.



Kuvio 6: Jatkotutkimuksen osa-alueet laitetekniikan ja ohjelmistojen osalta

Tutkimuksen yhtenä osa-alueena on RFID-järjestelmän käyttöliittymän sekä testitietokannan suunnittelu ja toteutus. Niiden konfigurointiin käytetään laitetoimittajan omaa RF-Manager -ohjelmistoa, minkä avulla toteutetaan sekä käyttöliittymä, että tunnistetietokanta.

tiedon muokkaaminen ja siirtäminen tuotannon tietokantaan. Koska robottisolussa ei ole käytössä tuotannonhallintaohjelmistoa, rajataan tutkimus tietokannan operoinnin tasolle, eli työssä ei käsitellä tiedonsiirtoa tietokannasta tuotannonhallintajärjestelmään.

Robottisolun ohjausjärjestelmän osalta jatkotutkimuksessa selvitetään, millä tavoin RFID-etätunnistus soveltuu robottien sekä solun materiaalivirran ohjaamiseen. Tämä edellyttää, että tunnistetiedon tulee olla robotin ohjaimen sekä kuljettimien logiikkaohjauksen saatavilla, ohjausohjelmien ymmärtämässä muodossa.

Koska RFID-tunnistus on herättänyt suurinta mielenkiintoa puunjalostusteollisuudessa, käytetään tunnistaiden asennusalueina puutuotteita. Tuotteiden muoto, rakenne, laatu sekä tunnistaiden sijoitustapa pyritään suunnittelemaan siten, että konstruktiot olisi helppoa toteuttaa myös teollisuussovelluksissa.

## 6 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tämän opetuksen kehittämishankkeen tuotos jakautui selkeästi kahteen eri kokonaisuuteen: robottisolun rakennetta ja toimintaa tarkastelevaan tekniseen osaan sekä solun opetuksellista tehtävää arvioivaan pedagogiseen osaan. Teknisen osan merkittävintä antia oli automaattisen robottisolun toiminnan ymmärtäminen kokonaisuutena, eli miten järjestelmän eri osat saadaan toimimaan yhdessä siten, että miehittämätön tuotanto on mahdollista. Keskeistä oli selvittää robotin ohjausjärjestelmän ja solun logiikkaohjauksen väliset liityntärajapinnat sekä valvomo- ja RFID-etätunnistusjärjestelmän toiminta, sillä näiden ymmärtäminen on avainasemassa paitsi opetuksen, myös tulevaisuuden tuotekehityshankkeiden kannalta.

Materiaalivirtauksen etenemisen osalta ongelmallisimmat pullonkaulat ovat tällä hetkellä toisen ja kolmannen siirtokuljettimen sekä syöttö- ja poistokuljettimen väliset ”kulmakohdat”. Siirtokuljettimien välinen siirto toteutetaan tällä hetkellä päärobotilla, mikä ei työkierron nopeuden ja taloudellisuuden kannalta ole järkevä toimintatapa. Tulevaisuudessa lienee perusteltua hankkia siirtokuljettimien välille esimerkiksi pneumaattinen kääntöpöytä tai hihnakaarre, mitä pitkin kappaleet voivat esteettömästi siirtyä kuljettimelta toiselle. Toinen vaihtoehto olisi sijoittaa kyseiseen kohtaan jokin itsenäistä työvaihetta suorittava toimilaite, mittalaite (esim. konenäköasema) tai yksinkertaisimmillaan pelkkä työkappaleiden puskurivarasto päärobotille. Toteutustavan valinnassa tulee huomioida myös mahdollinen IRB 4400 -robotin siirto robottisolun yhteyteen, mikä ratkaisisi ongelman ehkä parhaiten, sillä luonnollisin työskentelyalue kyseiselle robotille olisi juuri siirtokuljettimien kulmakohdassa. Tämä olisi myös tilan käytön ja opetuksen kannalta toimivin ratkaisu, koska tällöin kaikki robotit sijaitsisivat selkeästi omassa kokonaisuudessaan, ja niillä olisi mahdollista toteuttaa opetusta joko erillisenä robottikohteisena opetuksena peruskursseilla tai koko solun kattavana järjestelmätason opetuksena robotiikan jatkokursseilla. Kolmen robotin kokonaisuus kuljettimiseen liitettynä solun muuhun automaatioinfrastruktuuriin tarjoaisi erittäin hyvät olosuhteet järjestelmätason opetukseen myös automaatio- ja tuotantotekniikassa, sillä solun kokoluokka ja tekninen rakenne vastaisivat tällöin modernia teollisuuden tuotantojärjestelmää – ehkä voitaisiin jo puhua ”pienoistehtaasta”.

Kuormalavojen liikuttelua varten myös syöttö- ja poistokuljettimien välille tarvitaan oma kääntöjärjestelmänsä. Lähinnä ongelmia aiheuttaa tyhjien ja täysien kuormalavojen siirtely poistokuljettimella, sillä kuljetin sijaitsee 90 asteen kulmassa syöttösuuntaan nähden. Kuormalavojen siirtelyn helpottamiseksi kulmakohtaan on hankittu teollisuudessa käytössä ollut sähköinen rullakääntöpöytä, mikä on tarkoitus modernisoida solun lavakuljettimille sopivaksi.

Vaikka robottisolu olisi teknisesti valmis, ei se ole sitä koskaan turvatoimintojen osalta. Solun turvallinen käyttö edellyttää toiminnan seuranta ja turvatoimintojen jatkuvaa kehittämistä. Vaikka riskianalyysi on keskeinen osa turvallisuussuunnittelua, ei siinä ole välttämättä osattu ennakoita kaikkia mahdollisia vaaratilanteita, mitä solun käytön aikana voi toteutua. On tärkeää, että havaituista riskeistä informoidaan ja mahdolliset turvallisuuspuutteet korjataan. Koska kaikkia riskejä ei ole mahdollista eliminoida pelkällä turvalaitetekniikalla, tulisi robottisolu ottaa keskeiseksi osaksi Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelman työ- ja koneturvallisuuskoulutusta siten, että koulutus järjestetään ennen kuin työskentely solulla aloitetaan. Tällä hetkellä robottityöturvallisuus on integroitu osaksi Robotiikan perusteet -opintojaksoa. Koneturvallisuuteen voi perehtyä syvällisemmin Sähkösuunnittelun jatkokurssilla, mikä toteutetaan valinnaisena opintojaksona vasta neljäntenä lukuvuonna. Luonnollisesti tämä ei robottikoulutukseen nähden ole enää paras mahdollinen ajankohta.

Opetuksen kehittämishankkeen yhtenä osana kartoitettiin Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelmasta ne opintojaksot, joilla on mahdollista jollakin tavoin hyödyntää uutta robottisolua. Muiden kuin Robotiikan perus- ja jatkokurssien osalta solun opetuksellista hyödynnettävyyttä rajoittaa se, että IBR 6620 -päärobotti on solussa niin keskeinen komponentti, että muiden toimilaitteiden, kuten kuljettimien käyttäminen ilman sitä pelkän logiikkaohjauksen kautta ei välttämättä ole opetuksellisesti kovin havainnollista. Jokainen opettaja voi omalta osaltaan arvioida, haluaako hän käyttää robottisolua esimerkiksi ohjelmoitavien logiikoiden opettamiseen ilman robottia pelkästään kuljettimia käyttämällä. Tulevaisuudessa robottisolun AS-i -väylään kannattaa liittää pneumatiikka-terminaaleja siten, että kuljettimiin voidaan asentaa lisää erilaisia pneumaattisia toimilaitteita. Tämä tuo lisää monipuolisuutta paitsi ohjelmoitavien logiikoiden, myös väylätekniikan ja mahdollisesti myös pneumatiikan opetukseen.

Opintojaksojen toteutusten osalta tuntisuunnitelmissa tulisi pyrkiä siihen, että Robotisolulla työskentely aloitettaisiin toisen lukuvuoden syksyllä Robotiikan perusteet -

opintojaksolla, ja se päätettäisiin neljännen lukuvuoden keväällä Robotiikan jatkokurssiin. Kaikki muut automaatiotekniikkaan liittyvät opintojaksot ensimmäisen lukuvuoden peruskursseja lukuun ottamatta tulisi ajoittaa näiden väliin. Tällä tavoin opiskelijoilla olisi riittävät perustiedot robotiikan opiskelun aloittamiseen, ja vastaavasti opintojen lopussa kattavat pohjatiedot automaatiotekniikasta siten, että robottisolun kokonaisvaltainen hyödyntäminen robotiikan syventävällä opintojaksolla on mahdollista.

Alun perin kehittämishankkeen yhtenä tavoitteena oli selvittää sosiaalisen median, lähinnä Second Life -virtuaaliympäristön hyödyntämismahdollisuuksia robotiikan opetuksessa. Työn edistyessä vahvistui kuitenkin käsitys Second Life -ympäristön rajallisuudesta mahdollisuuksista tämän tyyppisen, suhteellisen monimutkaisen tieto-aidon opettamiseen. Second Life tarjoaa varsin hyvät työkalut yleisluonteisen informaation esittämiseen, ja esityksiä on mahdollista elävöittää esimerkiksi elävän kuvan avulla, mutta robotiikassa keskeisten ohjelmointitaitojen kehittämiseen Second Lifen mahdollisuudet ovat varsin rajalliset. Robotiikan yleistietojen osalta LAMK:n Tekniikan alalla on jo kattavat verkkomateriaalit (esim. <http://tl-automaatio.lpt.fi/robotiikkakurssi/robo1.htm>), eikä kyseisen materiaalin siirtäminen Second Life -ympäristöön sinällään tuo oleellista lisäarvoa robotiikan opetukseen. Lisäksi robottisolu sisältää kattavan PC-ohjelmiston (RobotStudio) robotiikan off-line -ohjelmointiin sekä simulointiin, eikä Second Lifen peliympäristö pysty tarjoamaan kilpailevaa mallinnus- ja simulointialustaa tälle ohjelmistolle. Sosiaalisen median tarjoamia mahdollisuuksia ei voi kuitenkaan kokonaan sulkea pois edes robotiikan opetuksesta. Opiskelijoiden väliseen kommunikointiin Second Life tarjoaa hyvät apuvälineet jo nyt, ja jos ympäristön mallinnus- ja simulointiominaisuudet kehittyvät käyttäjäystävällisempään suuntaan, saatetaan robottisolun käyttöä opettaa tulevaisuudessa myös virtuaalisesti. Tämä tietysti edellyttää joustoja myös oppilaitoksen tietohallinnolta, lähinnä ohjelmistojen tietoturvasäännösten ja päivityskäytäntöjen osalta.

Tämä opetuksen kehittämishanke on jo tuottanut yhden jatkotutkimuksen, minkä tavoitteena on selvittää robottisolussa olevan RFID-etätunnistusjärjestelmän soveltamismahdollisuuksia puutuotteiden tunnistamiseen. Työ toteutetaan Teknillisen korkeakoulun opinnäytetyönä lukuvuoden 2009–2010 aikana.

## Lähteet

ABB IRB 6620 Industrial Robot -tietolomake. Saatavana pdf-muodossa

<http://www.abb.fi/product/us/9AAC100735.aspx>. syyskuu 2008.

Järvinen, A., Koivisto, T. & Poikela, E. 2000. Oppiminen työssä ja työyhteisössä.

Helsinki: WSOY.

Opinto-opas 2009–2010, Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. 2009. Lahti:

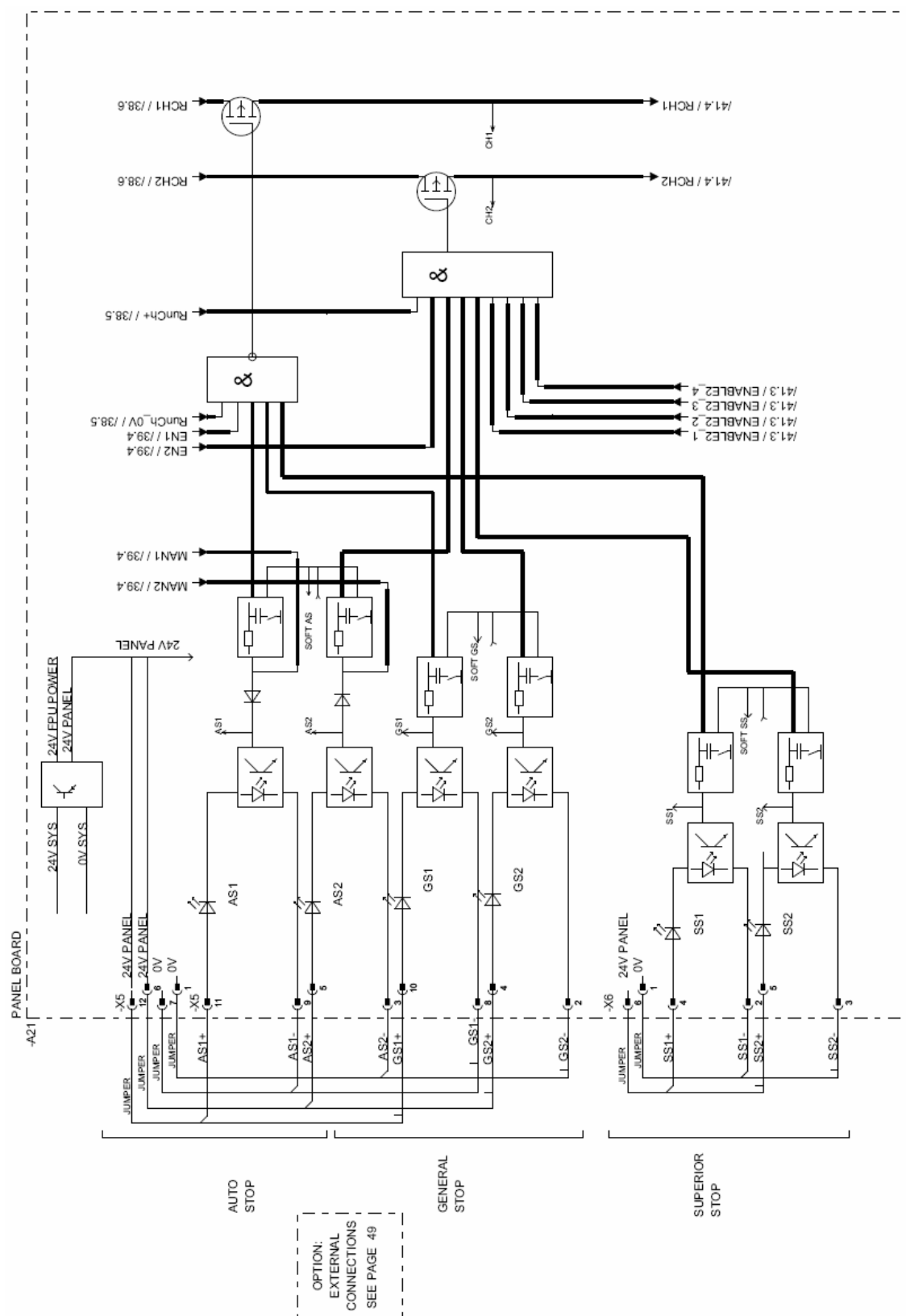
Lahden ammattikorkeakoulu, Tekniikan ala.

RFID systems Simatic RF660R. 2008. Getting Started. Manual: Siemens AG.

## Liitteet

- 1 Robotin turvakytkenä
- 2 Opintojen rakenne mekatroniikan insinöörikoulutuksessa
- 3 Case-esimerkin ratkaisu, robotin ohjausohjelma





**KONE- JA TUOTANTOTEKNIIKAN KOULUTUSOHJELMA 240 op****PERUSOPINNOT 55 OP**

<b>Ammattikorkeakoulun yhteiset opinnot</b>		<b>14 op</b>	<b>lukuvuosi</b>
01SUO	Asiantuntijaviestintä		1
- 01SUOA	Asiantuntijaviestintä	3 op	
- 01PINFO	Informaatiolukutaito	1 op	
01RUO	Ruotsin kieli		3
- 01RUOS	Ruotsin kieli, suullinen osa	1,5 op	
- 01RUOK	Ruotsin kieli, kirjallinen osa	1,5 op	
01ENG	Englannin kieli ja viestintä	3 op	2
01PJYT	Yrittäjyysopinnot	4 op	3

<b>Ammatilliset perusopinnot</b>		<b>41 op</b>	<b>lukuvuosi</b>
0730OR102	Orientoivat opinnot	2 op	1
0708T1103	Tietotekniikka I	3 op	1
0701AG105	Algebra, geometria ja trigonometria	5 op	1
0701FM105	Fysiikan perusteet ja mekaniikka	5 op	1
0701VM103	Vektorit ja matriisit	3 op	2
0730MF105	Mekatroniikan fysiikka	5 op	2
0701FL103	Fysiikan laboraatiot	3 op	2
0730ME003	Mekatroniikan englanti	3 op	3
0701DI104	Derivaatta ja integraali	4 op	3
0701T1103	Tilastomatematiikka I	3 op	4
0701KT105	Kemia	5 op	4

**AMMATTIOPINNOT 113 OP**

<b>Mekaaniset järjestelmät 1</b>		<b>11 op</b>	<b>lukuvuosi</b>
0730MS213	Mekaniikkasuunnittelu 1	3 op	1
0730MV214	Materiaali- ja valmistustekniikka 1	4 op	1
0730TP204	Tekninen piirustus	4 op	1

<b>Automaatiojärjestelmät 1</b>		<b>13 op</b>	<b>lukuvuosi</b>
0730AP303	Automaatiosuunnittelun perusteet	3 op	1
0730ST303	Sähkötekniikka ja -turvallisuus	3 op	1
0730OS304	Ohjaussuunnittelun perusteet	4 op	1
0730SS303	Sähkösuunnittelun perusteet	3 op	1

<b>Mekaaniset järjestelmät 2</b>		<b>14 op</b>	<b>lukuvuosi</b>
0730MS225	Mekaniikkasuunnittelu 2	5 op	2
0730MV222	Materiaali- ja valmistustekniikka 2	2 op	2
0730LK202	Liitokset ja koneenosat	2 op	2
0730MY203	Mekanisointiyksiköt	3 op	2
0730HY202	Hydrauliikka	2 op	2

<b>Automaatiojärjestelmät 2</b>		<b>17 op</b>	<b>lukuvuosi</b>
0730PN303	Pneumatiikka	3 op	2
0730DT302	Digitaalitekniikka	2 op	2
0730SM303	Sähkömoottorikäytöt	3 op	2
0730PK304	Paikoituskäytöt	4 op	2
0730MT302	Mittaustekniikka ja vianhaku	2 op	2
0730RP303	Robotiikan perusteet	3 op	2

jatkuu

jatkuvuus

**Mekatroniikan suuntautumisvaihtoehto**

<b>Mekaaniset järjestelmät 3</b>		<b>11 op</b>	<b>lukuvuosi</b>
0730MV233	Materiaali- ja valmistustekniikka 3	3 op	3
0730MS234	Mekaniikkasuunnittelu 3	4 op	3
0730PM202	Patentit, muotoilu	2 op	3
0730H2202	Hydrauliikka 2	2 op	3

<b>Automaatiojärjestelmät 3</b>		<b>9 op</b>	<b>lukuvuosi</b>
0730SO303	Sähkösuunnitteluohjelmiston käyttö	3 op	3
0730TM304	Tiedonkeruujärjestelmät ja modulaariset logiikat	4 op	3
0730SP302	Säätötekniikan perusteet	2 op	4

<b>Tuotantotekniikka 1</b>		<b>9 op</b>	<b>lukuvuosi</b>
0730LO402	Laskenta ja ostot	2 op	3
0730MA402	Markkinointi	2 op	3
0730JL402	Johtaminen ja laatu	2 op	3
0731TS403	Tehdassuunnittelu 1	3 op	4

<b>Projektit</b>		<b>29 op</b>	<b>lukuvuosi</b>
0730P1507	Projekti 1	7 op	1
0730P2507	Projekti 2	7 op	2
0730P3507	Projekti 3	7 op	3
0730P4508	Projekti 4	8 op	4

**ERIKOISTUMISOPINNOT 12 OP**

Erikoistumisopinnoissa voi erikoistua a) mekaniikkasuunnitteluun tai b) sähkö- ja automaatio-suunnitteluun. Opiskelijan pitää valita yhteensä 12 op Mekaaniset järjestelmät 4 ja/tai Automaatiojärjestelmät 4 moduuleista.

<b>Mekaaniset järjestelmät 4</b>		<b>12 op</b>	<b>lukuvuosi</b>
0730LU203	Lujuusoppi	3 op	4
0730VM203	Valmistusmenetelmät	3 op	4
0730MS243	Mekaniikkasuunnittelu 4	3 op	4
0730RJ303	Robotiikan jatkokurssi	3 op	4

<b>Automaatiojärjestelmät 4</b>		<b>12 op</b>	<b>lukuvuosi</b>
0730VV303	Väylät ja valvomot logiikkaympäristössä	3 op	4
0730OP303	Ohjelmoinnin perusteet (C-kieli)	3 op	4
0730SJ303	Sähkösuunnittelun jatkokurssi (turvatekniikka)	3 op	4
0730OJ303	Ohjelmoinnin jatkokurssi (C-kieli)	3 op	4

<b>Vapaasti valittavat opinnot</b>		<b>15 op</b>	<b>lukuvuosi</b>
0760KH903	Koneistuksen ja hitsauksen perusteet	3 op	1
0760SE903	Sähkötekniikan ja elektroniikan perusteet	3 op	1
0760SJ003	Solidworksin jatkokurssi	3 op	3
0760PC903	PC-ohjaustekniikka	3 op	4
0760AT903	Anturitekniikan jatkokurssi	3 op	4

**HARJOITTELU 30 OP**

<b>Opinnäytetyö</b>		<b>15 op</b>	<b>lukuvuosi</b>
0730ON715	Opinnäytetyö	15 op	3-4

jatkuu

jatkuvuus

**Tuotantopainotteisen mekatroniikan suuntautumisvaihtoehto**

<b>Projektit</b>		<b>14 op</b>	<b>lukuvuosi</b>
0730P1507	Projekti 1	7 op	1
0730P2507	Projekti 2	7 op	2

<b>Tuotantotekniikka 1</b>		<b>9 op</b>	<b>lukuvuosi</b>
0730LO402	Laskenta ja ostot	2 op	3
0730MA402	Markkinointi	2 op	3
0730JL402	Johtaminen ja laatu	2 op	3
0731TS403	Tehdassuunnittelu 1	3 op	4

<b>Tuotantotekniikka 2</b>		<b>8 op</b>	<b>lukuvuosi</b>
0731TO403	Tuotannonohjaus	3 op	3
0731LA402	Laatutekniikka	2 op	3
0731JO403	Johtamisen jatkokurssi	3 op	3

**ERIKOISTUMISOPINNOT 9 OP**

<b>Tuotantotekniikka 3</b>		<b>9 op</b>	<b>lukuvuosi</b>
0731T2403	Tehdassuunnittelu 2	3 op	4
0731CA403	CAM	3 op	4
0731HE403	Henkilöstö	3 op	4

<b>Vapaasti valittavat opinnot</b>		<b>15 op</b>	<b>lukuvuosi</b>
0760KH903	Koneistuksen ja hitsauksen perusteet	3 op	1
0760SE903	Sähkötekniikan ja elektroniikan perusteet	3 op	1
0760SJ003	Solidworksin jatkokurssi	3 op	3

**OHJATTU HARJOITTELU 30 OP**

<b>Ohjattu harjoittelu I</b>		<b>18 op</b>	<b>lukuvuosi</b>
0703OH118	Ohjattu harjoittelu 1	18 op	3
<b>Ohjattu harjoittelu II</b>		<b>12 op</b>	<b>lukuvuosi</b>
0703OH212	Ohjattu harjoittelu 2	12 op	4

<b>Opinnäytetyö</b>		<b>15 op</b>	<b>lukuvuosi</b>
0730ON715	Opinnäytetyö	15 op	3-4

## MODULE MainModule

```
CONST robtarget noutopiste:=[[142.56,20.80,-186.37],
[0.000941003,0.969348,0.245682,-0.00193188],[0,-1,1,0],
[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
```

```
CONST robtarget lahestymispiste:=[[142.67,20.77,-100.11],
[0.000987588,0.969353,0.245664,-0.00185279],[0,-1,1,0],
[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
```

```
CONST robtarget peruspiste:=[[42.63,-80.78,251.89],
[0.000952194,0.969355,0.245654,-0.00189356],[0,-1,1,0],
[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
```

```
CONST robtarget laskupiste:=[[560.74,-857.25,-154.01],
[0.000274062,-0.494561,-0.86913,-0.004749],[-1,0,0,0],
[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
```

```
VAR num xoffs:=0;
```

```
VAR num yoffs:=0;
```

```
VAR num zoffs:=0;
```

```
CONST robtarget lavausperuspiste:=[[-38.69,78.31,296.44],
[0.000268098,-0.494568,-0.869126,-0.0047478],[-1,0,0,0],
[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
```

```
PERS num rivi:=0;
```

```
PERS num sarake:=0;
```

```
PERS num kerros:=0;
```

```
VAR bool lava_taynna:=TRUE;
```

```
CONST robtarget hakupiste2:=[[-1.77,-90.07,164.05],
[0.0008829,-0.859132,0.51175,0.00189501],[1,-1,2,0],
[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
```

```
CONST robtarget lahestymispiste2:=[[-1.73,-90.09,361.34],
[0.000893518,-0.859133,0.511748,0.00182544],[1,-1,2,0],
[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
```

```
CONST robtarget peruspiste2:=[[-493.45,-325.24,611.21],
[0.000902411,-0.859132,0.51175,0.00182931],[0,-1,2,0],
[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
```

```
CONST robtarget lavaus1:=[[559.03,-861.50,-149.69],
[0.000271907,-0.49455,-0.869137,-0.00457686],[-1,0,0,0],
[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
```

```
PERS num kpl:=0;
```

```
VAR num korjaus_x:=0;
```

```
VAR num korjaus_y:=0;
```

```
VAR num korjaus_z:=0;
```

jatkuu

jatkuvuus

```
VAR robtarget piste:=[[559.03,-861.50,-149.69],
[0.000272695,-0.494549,-0.869138,-0.00457978],[-1,0,0,0],
[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
```

```
VAR num sarakemuuttuja:=0;
VAR num rivimuuttuja:=0;
```

```
CONST robtarget kaantopiste:=[[102.13,-4.21,297.17],
[0.00194633,-0.969898,-0.243502,0.000644165],[1,-1,1,0],
[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
```

```
CONST robtarget kaato_tartunta:=[[102.12,-9.33,165.96],
[0.00197084,-0.969899,-0.243497,0.000662382],[1,-1,1,0],
[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
```

```
PROC main()
```

```
IF DI10_11_PLC3 = 1 AND DI10_10_PLC2 = 0
THEN
    PulseDO\PLength:=1, DO10_10_PLC2;
    WaitDI DI10_10_PLC2, high; lava_taynna := FALSE;
ENDIF
```

```
IF lava_taynna = FALSE AND (DI10_10_PLC2 = 1
    OR DI10_12_PLC4 = 1)
```

```
THEN
    IF kpl < 8
    THEN
        haku;
    ELSE
        haku2;
    ENDIF
    lavaus;
ENDIF
```

```
ENDPROC
```

```
PROC haku()
```

```
MoveJ peruspiste, v1000, z150, tOctopus\WObj:=wobjKuljetin2;
    WaitDI DI10_09_PLC1, high;
MoveL lahestymispiste, v400, z50, tOctopus\WObj:=wobjKuljetin2;
MoveL noutopiste, v200, fine, tOctopus\WObj:=wobjKuljetin2;
    SetDO DO10_03_IMU, high;
    WaitTime 1;
MoveL lahestymispiste, v400, z50, tOctopus\WObj:=wobjKuljetin2;
MoveJ peruspiste, v1000, z200, tOctopus\WObj:=wobjKuljetin2;
    PulseDO\PLength:=1, DO10_09_PLC1;
```

```
ENDPROC
```

jatkuu

jatkuvuus

```

PROC lavaus()
    MoveJ lavausperuspiste, v1000, z150, tOctopus\WObj:=wobjKuljtin1;
        ehdot; pisteen_laskeenta;
    MoveL Offs(laskupiste,xoffs - 50,yoffs + 50,zoffs + 150), v400, z50,
        tOctopus\WObj:=wobjKuljtin1;
    MoveL Offs(laskupiste,xoffs,yoffs,zoffs + 100), v200, z20,
        tOctopus\WObj:=wobjKuljtin1;
    MoveL Offs(laskupiste,xoffs,yoffs,zoffs), v200, fine,
        tOctopus\WObj:=wobjKuljtin1;
    SetDO DO10_03_IMU, low;
    WaitTime 1;
    MoveL Offs(laskupiste,xoffs,yoffs,zoffs + 100), v200, z20,
        tOctopus\WObj:=wobjKuljtin1;
    MoveL Offs(laskupiste,xoffs - 50,yoffs + 50,zoffs + 150), v400, z50,
        tOctopus\WObj:=wobjKuljtin1;
    MoveJ lavausperuspiste, v1000, z150, tOctopus\WObj:=wobjKuljtin1;
        laskurit;

```

ENDPROC

```

PROC pisteen_laskeenta()
    IF kpl < 9
    THEN
        xoffs := rivi * (-210) + korjaus_x;
        !
        yoffs := sarake * (295) + korjaus_y;
        !
        zoffs := kerros * 205 + korjaus_z;
    ELSE
        xoffs := rivi * (-295) + korjaus_x;
        !
        yoffs := sarake * (210) + korjaus_y;
        !
        zoffs := kerros * 205 + korjaus_z;
    ENDIF

```

ENDPROC

```

PROC laskurit()
    sarake := sarake + 1; kpl := kpl + 1;
    IF sarake >= sarakemuuttuja
    THEN
        rivi := rivi + 1;
        sarake := 0;
        IF rivi >= rivimuuttuja
        THEN
            kerros := kerros + 1;
            rivi := 0;
            IF kerros >= 2
            THEN
                rivi := 0;
                sarake := 0;
                kerros := 0; jatkuu
            ENDIF
        ENDIF
    ENDIF

```

jatkuvuus

```

lava_taynna := TRUE; kpl := 0;
PulseDO\PLength:=1,
DO10_11_PLC3;

```

ENDIF

ENDIF

ENDIF

ENDPROC

PROC haku2()

```

MoveJ peruspiste, v1000, z50, tOctopus\WObj:=wobjKuljetin2;
MoveJ peruspiste2, v1000, z50, tOctopus\WObj:=wobj_kuljetin_3;
WaitDI DI10_12_PLC4, 1;

```

IF kpl &lt; 9

THEN

```

MoveL kaantopiste, v400, z50, tOctopus\WObj:
=wobj_kuljetin_3;
MoveL kaato_tartunta, v150, fine, tOctopus\WObj:
=wobj_kuljetin_3;
SetDO DO10_03_IMU, high;
WaitTime 1;

```

```

MoveL kaantopiste, v400, z50, tOctopus\WObj:
=wobj_kuljetin_3;

```

ELSE

```

MoveL lahestymispiste2, v400, z50, tOctopus\WObj:
=wobj_kuljetin_3;
MoveL hakupiste2, v150, fine, tOctopus\WObj:
=wobj_kuljetin_3;
SetDO DO10_03_IMU, high;
WaitTime 1;

```

```

MoveL lahestymispiste2, v400, z50, tOctopus\WObj:
=wobj_kuljetin_3;

```

ENDIF

```

MoveJ peruspiste2, v1000, z50, tOctopus\WObj:=wobj_kuljetin_3;
MoveJ peruspiste, v1000, z50, tOctopus\WObj:=wobjKuljetin2;
PulseDO\PLength:=1, DO10_12_PLC4;

```

ENDPROC

PROC ehdot()

IF kpl &lt; 9

THEN

```

sarakemuuttuja := (3); rivimuuttuja := (3);
korjaus_x := (0); korjaus_y := (0); korjaus_z := (0);
piste := laskupiste;

```

ELSE

```

sarakemuuttuja := (4); rivimuuttuja := (2);
korjaus_x := (-29); korjaus_y := (5); korjaus_z := (0);
piste := lavaus1;

```

ENDIF

ENDPROC

ENDMODULE